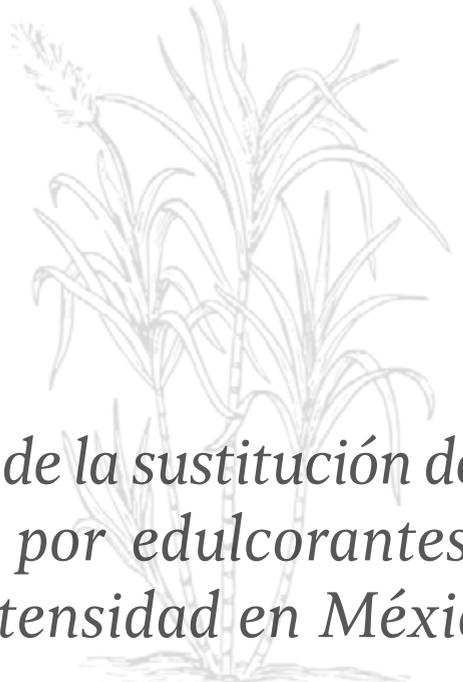


# *Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México*

Alberto Santillán Fernández  
Luis Ramiro García Chávez  
Nehemías Vásquez Bautista  
Vinicio Horacio Santoyo Cortés  
Mario Melgar Morales  
Willian Pereira  
Jesús Eliecer Larrahondo Aguilar  
Agustín Merino García



*Impacto de la sustitución del azúcar  
de caña por edulcorantes de alta  
intensidad en México*

Signatura

Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México / A. Santillán-Fernández, L. R. García-Chávez, N. Vásquez-Bautista, V. H. Santoyo-Cortés, M. Melgar-Morales, W. Pereira, J. Larrahondo-Aguilar, A. Merino-García A. Chapingo, Estado de México. México: Universidad Autónoma Chapingo, 2017.

478 p., 23 cm

ISBN: 978-607-12-0449-3

1. azúcar / 2. edulcorantes / 3. etanol / 4. biocombustibles

Estudio desarrollado en el marco de los Fondos Sectoriales SAGARPA – CONACYT  
Proyecto S0007-2014-01 con número 000000000250028, convocatoria 2014-01,  
con título: *Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México*

Coordinación editorial: Alberto Santillán Fernández

Revisión de estilo: Gloria Villa Hernández

Diseño y formación: Ana G. Guzmán Rodríguez y Alfonso Martínez Acosta

Diseño de cubierta: Alfonso Martínez Acosta



## *Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México*

Alberto Santillán Fernández  
Luis Ramiro García Chávez  
Nehemías Vásquez Bautista  
Vinicio Horacio Santoyo Cortés

Mario Melgar Morales  
Willian Pereira  
Jesús Eliecer Larrahondo Aguilar  
Agustín Merino García



---

## Agradecimientos

Primera edición: enero 2017

ISBN: 978-607-12-0449-3

D.R.© Alberto Santillán Fernández, Luis Ramiro García Chávez,  
Nehemías Vásquez Bautista, Vinicio Horacio Santoyo Cortés,  
Mario Melgar Morales, Willian Pereira, Jesús Eliecer Larrahondo Aguilar,  
Agustín Merino García

---

D.R. © Universidad Autónoma Chapingo  
km 38.5 carretera México-Texcoco,  
Chapingo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230  
Tel: 01 (595) 952-15-00 ext. 5142  
Correo electrónico: isbnchapingo@gmail.com

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción, total o parcial de esta obra ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

Impreso en México.



Este libro es producto del proyecto 000000000250028 titulado *Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México*, que se enmarca como tema estratégico transversal: *Edulcorantes-Caña de azúcar* del Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Filogenéticos que comparten la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONSEC SAGARPA-CONACYT).

Responde a la necesidad de conocer con certeza el efecto sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México, para evaluar el impacto económico de este efecto en la agroindustria azucarera y proponer alternativas que minimicen el riesgo de pérdidas para productores de caña e industriales, mediante esquemas de diversificación de usos de la caña de azúcar en el país.

Pretende facilitar la toma de decisiones para aprovechar las áreas de oportunidad del mercado de los edulcorantes y el potencial de diversificar el uso de la caña, cumpliendo con lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 en el Objetivo 3.5. *Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, pilares para el progreso económico y social sostenible*; y el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018, en el Objetivo 1. *Impulsar la productividad en el sector agroalimentario mediante inversión en capital físico, humano y tecnológico que garantice la seguridad alimentaria* y Estrategia 1.1. *Orientar la investigación y el desarrollo tecnológico a generar innovaciones aplicadas al sector agroalimentario que eleven la productividad y competitividad*.

En este sentido, se definió como objetivo del estudio: *Establecer el nivel de sustitución del azúcar de caña por edulcorantes no calóricos disponibles en México, el efecto de la creciente demanda de biocombustibles como el etanol, de la industria de los polímeros biodegradables, para evaluar el impacto económico en la agroindustria azucarera en México*.

Esta obra se estructura a partir del reconocimiento del estado del arte de los edulcorantes, que conduce al análisis de las diferentes clasificaciones que la literatura científica y de divulgación hacen respecto de éstos, sus usos principales y los riesgos que representan para la salud de la población que consume edulcorantes.

En el Capítulo 2 se analiza la evolución y situación reciente del sector de los edulcorantes a nivel internacional y nacional, y detectar así los principales competidores del azúcar de caña desde su producción, consumo y comercio. En el Capítulo 3 se cuantifican los niveles de sustitución del azúcar de caña por otros edulcorantes en la

---

industria de bebidas, alimentos, confitería y medicamentos, para estimar el impacto económico de dicha sustitución y las tendencias de mercado, lo que permite proponer acciones de política que den un nuevo impulso a la competitividad de esta agroindustria.

La Red de valor de la industria de edulcorantes en México se analiza en el Capítulo 4, para conocer cómo se relacionan los proveedores, consumidores, competidores y complementadores en el país.

La cuantificación de esos cambios permite inferir sobre los posibles escenarios de mercado en donde participa el azúcar de caña, el jarabe de maíz de alta fructuosa (JMAF) y los edulcorantes de alta intensidad o dietéticos. Identificar las tendencias en el consumo de los diferentes edulcorantes posibilita la definición de políticas de expansión, contracción y/o diversificación de la agroindustria cañera de México, en temas como la producción de etanol a partir de caña de azúcar. En virtud de ello, en los capítulos 5, 6, 7 y 8 se analizan el sector agroindustrial cañero nacional y de tres referentes mundiales: Brasil, Guatemala y Colombia, respectivamente, con el objetivo de proponer estrategias de diversificación de usos de la caña de azúcar que permitan ampliar el mercado de la caña sin poner en riesgo la actividad agroindustrial por la competencia con otros edulcorantes.

Finalmente, el Capítulo 9 muestra un análisis de la viabilidad económica de producir etanol en México, como una alternativa para hacer frente a la inminente contracción en el consumo per cápita e industrial del azúcar de caña.

La publicación de este libro es resultado del esfuerzo conjunto de investigadores nacionales e internacionales de países como España, Guatemala, Colombia y Brasil, que mantienen vigente su compromiso por difundir conocimientos que contribuyan al desarrollo del sector cañero nacional, mejorando así su competitividad internacional, desde la producción agrícola, industrialización y comercio de los diferentes productos y subproductos obtenidos de la caña de azúcar.

**Ing. Roberto González García**

Director General

Instituto Tecnológico Superior

de Venustiano Carranza

Escribir un libro sobre la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México no fue tarea fácil si se considera que es un tema que relaciona tanto aspectos agrícola-industriales como de salud, del cual existe escasa información, desde el concepto mismo “edulcorante”. Sin embargo, el compromiso como profesores investigadores nos motivó a plasmar en esta obra las experiencias de investigación en caña de azúcar y edulcorantes distintos a la sacarosa; nos hemos dado a la tarea de realizar un estudio del arte para definir, en primera instancia, el concepto sobre el cual gira el presente trabajo: ¿qué es un edulcorante?, y así establecer los escenarios nacionales e internacionales de producción y consumo de éstos; finalmente, mediante un análisis de etiquetado de productos endulzados, se establecieron los niveles de sustitución de sacarosa por otros edulcorantes de origen diferente.

La obra que usted tiene en sus manos es producto de la suma de esfuerzos de investigadores mexicanos, españoles, brasileños y guatemaltecos. En él se plasma tan solo una parte del trabajo que se desarrolló durante todo un año, con el apoyo financiero recibido por parte de los Fondos Sectoriales SAGARPA-CONACYT.

Hasta hace tres décadas la sacarosa prácticamente no presentaba competidor en el mercado, sin embargo, en la actualidad, por los cambios estructurales en los hábitos de consumo, motivados por razones de salud y estética, los niveles de consumo de sacarosa se han visto reducidos y, cada vez más, la industria de alimentos, bebidas, confitería y medicamentos demanda edulcorantes distintos a la sacarosa. Entre los edulcorantes distintos a la sacarosa, el de mayor consumo es el jarabe de maíz de alta fructuosa (JMAF) y la estevia, en América, y el aspartame, en Europa. El problema de la sustitución de azúcar de caña por otros edulcorantes radica en la reducción del consumo per cápita, pero sobre todo en el consumo industrial de productos endulzados. Ante este panorama, la regulación del etiquetado y la diversificación de usos de la caña, como el etanol, parecen ser las vías más factibles para garantizar la competitividad del sector.

---

*Los autores*

---

## Los autores



---

## Dr. Alberto Santillán Fernández

---



Licenciado en Estadística; Maestro en Ciencias Forestales con especialidad en Sistemas de Información Geográfica y Doctor en Problemas Económico-Agroindustriales por la Universidad Autónoma Chapingo, México. También realizó estudios de Maestría en Gestión Sustentable de la Tierra y el Territorio, en la Universidad de Santiago de Compostela, España.

Ha sido consultor, por parte del Colegio de Postgraduados, para la SAGARPA, en la evaluación nacional de infraestructura almacenaria de granos y oleaginosas, y en la determinación de áreas potenciales para el cultivo de maíz transgénico en México, empleando herramientas de sistemas de información geográfica. Ha impartido talleres y conferencias sobre la aplicación de modelos estadísticos y sistemas de información geográfica en la conservación de recursos fitogenéticos a instituciones como el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala y al departamento de Fitotecnia y Centro Regional Universitario Oriente (CRUO), de la Universidad Autónoma Chapingo.

Su trayectoria profesional también incluye estancias de investigación en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en Texcoco, Estado de México; en la Escuela Politécnica Superior de Santiago de Compostela, Lugo, España; en la Universidad de Aveiro, Aveiro, Portugal; Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Brasil y en el Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, en Guatemala. Además, ha sido distinguido por la Secretaría de Agricultura y el comité técnico de Agrobio por formar parte del cuerpo científico que colaboró en la determinación de zonas potenciales para el cultivo de maíz transgénico. Su producción en investigación se resume, a la fecha, en cuatro artículos científicos en revistas de alto impacto, además de un libro sobre temas económico agroindustriales de la caña de azúcar. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

---



**Dr. Luis Ramiro García Chávez**

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Ingeniero Agrónomo Especialista en Industrias Agrícolas (1978-1982). Maestría: Colegio de Postgraduados, Maestría en Ciencias en Economía Agrícola (1983-1984). Especialización: Italia, *Organización de la pequeña y mediana empresa agroalimentaria*. Borgo A. Monzano. Lucca Italia (1985); Cuba, *Aprovechamiento de los derivados de la caña de azúcar y tecnología azucarera*. Doctorado: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía (1991-1995). Estancia posdoctoral en la Universidad de Florida, EUA (1999-2000).

Profesor-investigador de tiempo completo, categoría C2. Centro Regional Universitario Occidente. Universidad Autónoma Chapingo (Antigüedad 33 años). Más de diez cursos curriculares impartidos a nivel licenciatura y posgrado con 40 tesis dirigidas y concluidas, 15 artículos publicados en revistas de circulación nacional e internacional; autor y coautor de nueve libros, 30 participaciones en foros, congresos y simposia. Investigador nacional Nivel 1 (1998-2002). Área: Ciencias en Ingeniería y Tecnología. Disciplina: Economía (Economía Agrícola). Especialidad: Agroindustria azucarera. Líder sectorial de productos caña de azúcar de la red Agroprospecta: Análisis y Prospectiva: Una herramienta para la toma de decisiones de política pública. Responsable técnico del diagnóstico de la agroindustria de la caña de azúcar: campo y fábrica (PRONAC 2007-2012). Responsable del seguimiento y supervisión del Programa Nacional de Alta Rentabilidad 2009 (PRONAR09). Responsable técnico del proyecto PROFERTIL FONAGA (Ingenio Casasano e Ingenio La Gloria), trabajo realizado con financiamiento del FIRA (2010). Responsable del estudio: "Análisis del mercado de los edulcorantes en México (SAGARPA-CONADESUCA)". Responsable técnico de la capacitación para la implementación en los ingenios azucareros del Sistema de Información para la Integración del Balance Azucarero (SIIBA). Responsable técnico de la evaluación del estado del arte en investigación, desarrollo e innovación en la agroindustria de la caña de azúcar. Responsable técnico del convenio UACH-DIA con la empresa ISTHMUS, para desarrollar el trabajo de asesoría técnica independiente para el proyecto integrado de caña etanol.



**M.C. Nehemías Vásquez Bautista**

Ingeniero Agrónomo especialista en Zonas Tropicales con Orientación Terminal en Manejo de ecosistemas tropicales. Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario del Sureste (CRUSE), (2009).

Su desempeño profesional se inició ofreciendo servicios de asistencia técnica a productores de maíz en la región Sierra de Tabasco; posteriormente, se integró a los servicios técnicos forestales en el estado de Tamaulipas, lugar donde al mismo tiempo realizó trabajos de investigación en parcelas permanentes de muestreo en selva baja caducifolia.

En agosto de 2015 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Una vez concluidos sus estudios de maestría, se incorporó a la plantilla docente del Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza. Actualmente desarrolla labores de investigación en colaboración con investigadores de otras instituciones, como la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán.

Las líneas de investigación que desarrolla son: *Modelado basado en agentes en contextos forestales, Distribución espacial de especies de interés ecológico, Análisis de redes y Minería de textos.*



**Dr. Vinicio Horacio Santoyo Cortés**

Ingeniero Agrónomo especialista en Industrias Agrícolas (1977), Escuela Nacional de Agricultura, Departamento de Industrias Agrícolas, México. Maestro en Ciencias en Economía Agrícola (1984), Colegio de Postgraduados - Campus Montecillos, México. Doctor en Geografía Agrícola (1989), Instituto de Geografía, Universidad de Aix-Marsella II. Aix-en-Prevence, Francia.

Líneas de investigación: *Análisis de sistemas agroindustriales, Redes de valor y modelos de negocio; Ciencia, sociedad, tecnología e innovación en el sector rural.*

Tiene cursos de especialización en "Crédito agrícola"; "Análisis cuantitativo de la política agrícola"; "Evaluación de programas de desarrollo rural", y en "Alta dirección de empresas". Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo desde julio de 1979 a la fecha, donde ha realizado investigación, así como publicado libros y artículos científicos sobre organización económica de productores, empresas de servicios en el medio rural, innovación y extensión rural, y evaluación de programas de desarrollo rural. Sus trabajos de investigación se han orientado al estudio de la gestión de innovación, la organización económica de productores y la integración de redes de valor como instrumentos de desarrollo para las unidades de producción rural familiar, desarrollando aportaciones de referencia en temas como extensionismo, innovación y organización económica en el medio rural para instituciones internacionales como FAO, CIMMYT e IICA. De 2001 a 2009, se desempeñó como Director General de Servicios Profesionales para el Desarrollo Rural de la SAGARPA, donde promovió vínculos importantes entre las instituciones de educación e investigación agrícola superior y el sector productivo, por ejemplo: *a)* involucrando a más de diez instituciones de educación superior y al INIFAP, en el Fortalecimiento de la oferta de servicios profesionales para el desarrollo rural; *b)* en el diseño y operación de Agencias para el desarrollo rural en el Programa Estratégico de Seguridad Alimentaria (PESA), que opera en más de 800 municipios de alta marginalidad, y *c)* en el diseño, operación y seguimiento con la Universidad Autónoma Chapingo, el INIFAP y diversas universidades locales, en el modelo de Agencias para la Gestión de la Innovación, que actualmente opera en más de doce entidades, con 80 agencias y en una veintena de sistemas-producto. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1.



**Dr. Mario Melgar Morales**

En 1993 obtuvo el grado de doctor en Estadística Aplicada, por la Universidad de California, en Riverside, Estados Unidos. Maestro en Ciencias en Estadística Experimental, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (1979). Es ingeniero agrónomo por la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) (1977). También cursó la carrera de Perito Agrónomo en la Escuela Nacional de Agricultura (ENCA, Guatemala) (1970).

Ha ocupado el cargo de Director General del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) desde 1994, dirigiendo programas y proyectos de investigación en caña de azúcar que han obtenido logros significativos en las áreas de Desarrollo de variedades, Biotecnología, Fitopatología, MIP, Fertilización, Riegos, Agrometeorología, Malezas y madurantes, Agricultura de precisión, Análisis de productividad, Recuperación de sacarosa, Eficiencia energética y Programas de transferencia de tecnología y capacitación.

Es miembro honorario vitalicio de la Sociedad Internacional de Tecnólogos de la Caña de Azúcar (ISSCT), reconocimiento que recibió en 2010 por su distinguida contribución a la ISSCT y a la industria de la caña de azúcar. En la ISSCT ocupó el cargo de Presidente del Comité Técnico y Vicepresidente del Comité Ejecutivo, de 2005 a 2007. Durante ese período se organizó el xxvi Congreso Mundial de la ISSCT en Durban, Sudáfrica y se organizaron *workshops* en Tailandia, Argentina, Ecuador, Mauricio, Guadalupe, Australia, Estados Unidos, México, Brasil y Sudáfrica. Miembro del Comité Ejecutivo de 2001 a 2013, y del Consejo de 1995 a 2013. Fue funcionario internacional de INCAP (1985 a 1994) y profesor investigador de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) de 1977 a 1984. En el 2011 fue distinguido con la Medalla Nacional de Ciencia y Tecnología otorgada por el Congreso de la República de Guatemala, un reconocimiento del Senado de la República mexicana en 2011, y diversos reconocimientos de asociaciones de técnicos azucareros, universidades y organizaciones académicas.



---

**Dr. Willian Pereira**

---

Ingeniero agrónomo (2009), Máster (2011) y Doctor (2016) en Agronomía/Ciencia del Suelo por la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ).

Posee experiencia en el área de investigación y desarrollo en agroenergía y ha participado en proyectos de empresas públicas y privadas en el sector sucroenergético brasileño. Colaboró en la investigación y desarrollo del primer inoculante bacteriano para el cultivo de caña de azúcar en Embrapa Agrobiologia (2005-2011), siendo responsable de la instalación y dirección de experimentos en regiones productoras de caña en Brasil. De los trabajos mencionados, se derivaron publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, además de premios a nivel nacional por parte de grandes empresas multinacionales, y a nivel regional por el Consejo Regional de Ingeniería y Agronomía de Río de Janeiro. Posteriormente ingresó en el departamento de Investigación y Desarrollo de la Raíz (2011-2013), el mayor grupo del sector sucroenergético brasileño, donde trabajó en el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de caña de azúcar. De 2013 a 2015, trabajó con el CENPES/Petrobrás como responsable de la planeación, acompañamiento y ejecución de proyectos de investigación, desarrollo e innovación en el área de biocombustibles. Actualmente es investigador en la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro-Campus Campos dos Goytacazes, en el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción sostenible de la caña de azúcar.



---

**Dr. Jesús Eliecer Larrahondo Aguilar**

---

Químico por la Universidad del Valle, Cali, Colombia (1971), con un doctorado en la Northeastern University, Boston, USA (1979).

Forma parte de seis asociaciones relacionadas con el sector cañero a nivel nacional e internacional. Ha sido profesor e impartidor de cátedra ocupando además diversos cargos académicos durante su trayectoria profesional, para la Universidad del Valle y para el Departamento de Química, en Northeastern University. Autor y coautor de más de 50 artículos científicos para revistas nacionales e internacionales; además, autor y colaborador en la elaboración de nueve manuales y series científicas. Como expositor, ha participado en más de 30 congresos a nivel nacional; a nivel internacional, ha asistido a más de 20 eventos.

Ha sido reconocido con las siguientes distinciones: Mejor trabajo y contribución al desarrollo colombiano azucarero. IV Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. Septiembre (1997). Consultor *ad-honorem* de la Fundación Internacional de Ciencias (IFS) de Suecia. Trabajo meritorio en investigación científica y aplicada. VI Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. Septiembre 24-26, 2003. Cali – Asocaña. Miembro del Comité Ejecutivo de la Asociación Internacional de Profesionales del Azúcar y Tecnologías Asociadas (IASIPT). China, 2006. Invitado especial y reconocimiento al aporte y Contribución Científica del Proceso Azucarero y Alcoquímica. XX Congreso de Técnicos Azucareros de Costa Rica y XIX Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica-ATACA, septiembre, 13 de 2013.

## Dr. Agustín Merino García



Licenciado en Ciencias Biológicas (1988) y Doctor en Ciencias Biológicas (1993) por parte de la Universidad de Santiago de Compostela, España. De 1993 a la fecha profesor-investigador titular del Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela, campus Escuela Politécnica Superior, en Lugo. Líneas de investigación: Edafología, Nutrición vegetal, Captura de carbono en suelos y biomasa, Gestión de residuos como fertilizantes de suelos, y Contaminación ambiental.

Su experiencia profesional incluye estancias de investigación en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Göttingen, Alemania (1991, 1992, 1993, 1995); Centro de Investigación Forestal de Baja Sajonia, Alemania (1991, 1993); Universidad de San Carlos, Guatemala (2009); Universidad Nacional del Amazonas Peruano, Perú (2010); Instituto Politécnico de Bragança, Portugal (2008, 2010) y Universidad de Atenas, Grecia (2009). También se ha desempeñado como vicerrector asociado de Investigación y Asuntos Internacionales de la Universidad de Santiago de Compostela (2006-2008).

En materia de investigación cuenta con más de 50 artículos en revistas de alto impacto a nivel internacional. Además, ha sido coordinador de 12 proyectos españoles y dos para la Unión Europea. Actualmente es editor de la revista *European Journal of Forest Research* adscrita a Springer, y árbitro de las revistas *Soil Biology and Biochemistry*, *Soil and Tillage Research*, *Biology and Fertility of Soils*, *Forest Ecology and Management*, *Journal of Tropical Forest Science*, *Journal of Environmental Management*, *Acta Agriculturae Scandinavica Sec B*, *Spanish Journal of Agricultural Research*, *Journal of Environmental Management*, *Science of the Total Environment*, *Land Degradation and Development*, *Annals of Forest Science*. Adicionalmente, coordina el doctorado en Ciencias Agrícolas y Medioambientales de la Universidad de Santiago de Compostela (España) y la Universidad de San Carlos en Guatemala, donde colabora con el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

Presentación	7
Prólogo	9
Los autores	11
<hr/>	
1. Principales aspectos de los edulcorantes	29
1.1. Resumen	29
1.2. Clasificación de los edulcorantes	29
1.2.1. Por su contenido calórico	30
1.2.2. Por su aporte al valor nutritivo	33
1.2.3. Por su estructura química	34
1.2.4. Otros tipos de clasificación	35
1.2.5. Propuesta de una nueva clasificación	36
1.3. Descripción de los principales edulcorantes	38
1.3.1. Naturales calóricos: azúcares	38
1.3.2. Naturales no calóricos: alcoholes del azúcar (polioles)	40
1.3.3. Naturales no calóricos: edulcorantes naturales sin calorías	41
1.3.4. Edulcorantes artificiales calóricos: azúcares modificados	43
1.3.5. Edulcorantes artificiales no calóricos: edulcorantes artificiales	44
1.3.6. Edulcorantes de alta intensidad	46
1.4. Usos actuales de los edulcorantes	48
1.4.1. Edulcorantes naturales calóricos	48
1.4.2. Edulcorantes naturales no calóricos	52
1.4.3. Edulcorantes artificiales calóricos	58
1.4.4. Edulcorantes artificiales no calóricos	59
1.5. Riesgos a la salud por el consumo de edulcorantes	67
1.5.1. Función del azúcar en el organismo	70
1.5.2. Beneficios del azúcar al organismo	71
1.5.3. Problemas ocasionados por el alto consumo de azúcar	71
1.5.4. Difusión de los efectos en la salud por el consumo de azúcar	74
1.5.5. Riesgos a la salud por el consumo de edulcorantes	76
1.5.6. Perspectivas en la alimentación	82

2. El mercado de los edulcorantes	89	4.6. La red comercial de las agroindustrias azucareras	230
2.1. Resumen	89	4.6.1. Análisis de la red comercial	239
2.2. Contexto internacional	89	4.7. La red comercial de los consumidores de azúcar de caña	243
2.2.1. Producción	90	4.7.1. Análisis de la red comercial	247
2.2.2. Consumo	99	4.8. Conclusiones	250
2.2.3. Precios internacionales	106	4.9. Anexo	251
2.2.4. Comercio	111		
2.2.5. Contexto nacional	125		
<hr/>			
3. Sustitución del azúcar de caña por otros edulcorantes	159	5. La agroindustria cañera en México: actualidad y retos	261
3.1. Resumen	159	para la diversificación	
3.2. Análisis de producto	159	5.1. Resumen	261
3.2.1. Principales industrias consumidoras de edulcorantes por sector	159	5.2. Dinámica de la producción cañera en México	263
3.2.2. Fuentes de proveeduría de empresas demandantes de edulcorantes	164	5.3. Productos obtenidos a partir de la caña de azúcar	270
3.2.3. Tipos de edulcorantes empleados en la industria nacional	170	5.3.1. Azúcar	270
3.2.4. Proporción de edulcorantes por producto	174	5.3.2. Etanol	273
3.2.5. Aporte calórico por producto y tipo de edulcorante	178	5.4. Factores de éxito en países que producen etanol a partir de caña de azúcar	280
3.2.6. Marco legal de etiquetado en productos	182	5.4.1. Etanol de caña de azúcar: el éxito de Brasil	280
3.2.7. Impacto económico y tendencias de mercado	184	5.4.2. Etanol de caña de azúcar: Colombia	282
3.2.8. Crecimiento demográfico	186	5.4.3. Etanol de caña de azúcar: Guatemala	283
3.2.9. Cambio en patrones de consumo	188	5.4.4. Etanol de caña de azúcar: retos para México	283
3.2.10. Tendencias en consumo de edulcorantes por industria	188	5.5. Subproductos obtenidos a partir de caña de azúcar	284
3.2.11. Análisis de costos por industria	196	5.5.1. Melazas y bagazo	284
<hr/>			
4. Red de valor de la industria de edulcorantes	213	5.5.2. Cachaza y Vinaza	290
4.1. Resumen	213	5.6. Otros usos de la caña de azúcar	292
4.2. Mapeo de redes comerciales	213	5.6.1. Azúcar orgánica: otra segmentación de mercado	293
4.2.1. Definición del objetivo del mapeo	213		
4.2.2. Diseño del instrumento de colecta de información	214	6. La agroindustria cañera en Brasil	297
4.2.3. Levantamiento de información	215	6.1. Resumen	297
4.2.4. Sistematización de la información	215	6.2. Introducción	297
4.2.5. Análisis gráfico	216	6.3. Dinámica de la producción de caña de azúcar	300
4.2.6. Análisis de indicadores	216	6.3.1. Eficiencia productiva en campo y fábrica	306
4.2.7. Uso del análisis de redes para la toma de decisiones	218	6.3.2. Cadena de valor campo-fábrica	313
4.3. La red de valor	218	6.3.3. Análisis de costos	316
4.4. La red de valor de azúcar de caña	219	6.4. Política azucarera	319
4.5. La red comercial de los ingenios azucareros	221	6.4.1. Producción y exportación de azúcar	319
4.5.1. Análisis de la red comercial	227	6.5. Diversificación de usos de la caña de azúcar	322
		6.5.1. Producción de etanol	323
		6.5.2. Producción de polímeros biodegradables	332
		6.6. Manejo de subproductos derivados del proceso de producción de azúcar bagazo e bioelectricidad	334

6.6.1. Melaza	338	8.4.1. Producción de etanol	385
6.6.2. Cachaza	338	8.5. Manejo de subproductos derivados del proceso de producción de azúcar	393
6.6.3. Vinaza	339	8.5.1. Bagazo	394
6.7. El mercado de los edulcorantes diferentes al azúcar de caña	340	8.5.2. Melaza	397
6.7.1. Producción	342	8.5.3. Cachaza y vinaza	399
6.7.2. Consumo	342	8.6. El mercado de los edulcorantes diferentes al azúcar de caña	401
6.7.3. Impacto en el mercado del azúcar de caña	345	8.6.1. Producción de edulcorantes utilizados en la industria alimentaria	401
6.8. Perspectivas de la agroindustria cañera nacional en el mediano plazo	346	8.6.2. Propiedades y consumo de algunos edulcorantes diferentes al azúcar	402
<hr/>			
7. La agroindustria cañera en Guatemala	351	8.7. Perspectivas de la agroindustria cañera nacional en el mediano plazo	406
7.1. Resumen	351	<hr/>	
7.2. Importancia de la agroindustria azucarera	351	9. Etanol de caña: ¿la mejor opción para sustituir los combustibles fósiles?	411
7.3. Análisis de tendencias en la producción de azúcar y exportaciones	354	9.1. Resumen	411
7.3.1. Indicadores de eficiencia productiva en campo y fábrica	356	9.2. Introducción	411
7.3.2. Comparación con países exportadores de azúcar a nivel mundial	357	9.3. Contexto internacional	413
7.4. Diversificación de usos de la caña de azúcar y manejo de subproductos	361	9.4. Principales países productores y consumidores de biocombustibles	416
7.4.1. Producción de etanol a partir de caña de azúcar en Guatemala	362	9.4.1. Políticas de apoyo	416
7.4.2. Evolución de la Cogeneración en Guatemala	364	9.5. Análisis de la estructura de costos de producción de etanol en EUA, Brasil y México	432
7.4.3. Cachaza	369	9.5.1. Costos de producción de etanol	434
7.4.4. Vinaza	370	9.5.2. Los precios del etanol	434
7.5. El mercado de los edulcorantes diferentes a la caña de azúcar	372	9.6. Análisis de resultados	435
7.6. Perspectivas de la agroindustria cañera nacional en el mediano plazo	374	9.7. Conclusiones	436
7.7. Agradecimientos	375	<hr/>	
<hr/>			
8. La agroindustria cañera en Colombia	379	10. Literatura citada	441
8.1. Resumen	379	<hr/>	
8.2. Dinámica de la producción de caña de azúcar	379		
8.2.1. Eficiencia productiva en campo y fábrica	380		
8.2.2. Cadena de valor campo-fábrica	382		
8.2.3. Análisis de costos	383		
8.3. Política azucarera	384		
8.3.1. Producción de azúcar	384		
8.3.2. Importaciones y exportaciones	385		
8.4. Diversificación de usos de la caña de azúcar	385		

# 1

## Principales aspectos de los edulcorantes



### 1.1 Resumen

Por naturaleza, el ser humano tiende a ingerir sustancias de sabor dulce y salado, rechazando aquellos de sabor amargo y ácido. El consumo de azúcar se encuentra asociado a la demanda energética del organismo y paladear lo dulce produce placer, mientras que un alimento salado no produce el mismo efecto. Los edulcorantes son aditivos que proporcionan dulzura a los alimentos con la finalidad de incrementar dicho placer al comerlos. Dentro de los edulcorantes, aquellos compuestos –naturales o sintéticos– con un poder energético nulo o insignificante en comparación con la sacarosa, se les denominan edulcorantes de alta intensidad. Dichos edulcorantes, además de la sacarosa pueden clasificarse de acuerdo con dos factores comunes: el contenido calórico que aportan en el consumo y el origen del propio edulcorante. En este apartado se describen las generalidades de los edulcorantes, desde su clasificación (al final se propone una clasificación que ordena desde el origen del edulcorante [natural/artificial], el aporte calórico, grupo al que pertenece, tipo de edulcorante y el poder edulcorante), descripción de las características de los edulcorantes así como su uso actual, los riesgos a la salud que conlleva el consumo de edulcorantes, los beneficios y riesgos del consumo del azúcar en particular. Además, se enfatiza la difusión que los medios de comunicación ofrecen acerca de los efectos del azúcar contra otros edulcorantes y para finalizar se describen las perspectivas de una alimentación sana. Se señala la importancia de que el consumidor se informe para adquirir hábitos de consumo saludables.

### 1.2 Clasificación de los edulcorantes

El disfrute de la dulzura de un alimento es una capacidad innata de los seres humanos, puede ser de manera natural, como la dulzura de las frutas por ejemplo, o añadida en los alimentos o bebidas. Sin embargo, el consumo en exceso de azúcares se ha relacionado con varias anomalías metabólicas, condiciones desfavorables de salud y deficiencias nutricionales (Espinoza, 2014).

El azúcar (sacarosa) como edulcorante universal, se obtiene principalmente de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) o de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*) (Sánchez, 2014). De acuerdo con González (2013), en México, las principales bebidas consumidas son: refrescos, aguas frescas, jugos, leche entera, café y té con azúcar agregada, atole, bebidas alcohólicas, bebidas energizantes y bebidas a base de soya, todas o gran parte de ellas, con alto contenido de edulcorantes, las cuales en su mayoría utilizan edulcorantes no calóricos.

Sin embargo, ¿qué es un edulcorante? Se entiende por edulcorante “aquellos aditivos utilizados para dar sabor dulce a los productos alimenticios y/o que son utilizados por sus propiedades edulcorantes” (Navarro, 2012). La definición anterior coincide con lo propuesto por Durán *et al.* (2013) quienes mencionan que un edulcorante es un aditivo que proporciona dulzura a los alimentos con la finalidad de incrementar el placer al comerlo.

Las propiedades de los edulcorantes varían considerablemente, sobre todo en el grado de dulzor (International Sugar Organization [ISO], 2012). Por ello, aquellos compuestos naturales o sintéticos con sabor dulce, pero con un poder energético nulo o insignificante en comparación con la sacarosa, se les denomina edulcorantes de alta intensidad [EAI] (Cubero *et al.*, 2002).

En general, los EAI no suelen sustituir directamente al azúcar en los procesos de manufactura de alimentos, exceptuando los refrescos bajos en calorías. Sin embargo, en algunos casos pueden mejorarse sus propiedades químicas añadiendo agentes de carga soluble (polioles), espesantes, gelificantes y conservantes. Aun así, existen muchos casos en los que es difícil desplazar al azúcar, pues dada su estabilidad química permite ser utilizada en procesos de horneado que requieren altas temperaturas para elaborar productos. Algunos EAI, como el aspartame es inestable a altas temperaturas, por ello, a diferencia de otros edulcorantes artificiales, la sacarosa extraída de caña de azúcar es utilizada en procesos de cocción (ISO, 2012).

La clasificación de los edulcorantes no está regulada y, por tanto, es difícil encontrar una sola definición; sin embargo, la mayoría de las clasificaciones que la literatura científica maneja, coincide en dos factores comunes: el contenido calórico que aportan en el consumo y el origen del propio edulcorante. A continuación se presentan las clasificaciones más comunes.

### 1.2.1 Por su contenido calórico

De acuerdo con García-Almeida *et al.* (2013), ante la gran variedad de clasificaciones existentes, los edulcorantes se pueden agrupar en función de su contenido calórico (calóricos y no calóricos), y origen (natural y artificial) (Tabla 1).

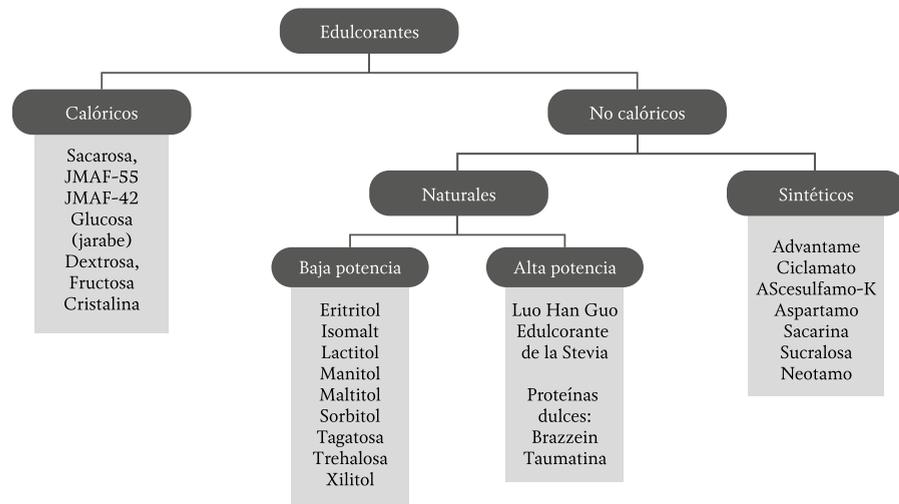
Tabla 1. Clasificación de los edulcorantes naturales y artificiales.

Clasificación de los edulcorantes			
Calóricos	Naturales	Azúcares	Sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa y trehalosa, tagatosa, Sucromalat
		Edulcorantes naturales calóricos	Miel, jarabe de arce, azúcar de palma o de coco y jarabe de sorgo.
	Artificiales	Azúcares modificados	Jarabe de maíz de alta fructosa, caramelo, azúcar invertido.
	No calóricos	Naturales	Alcoholes del azúcar
Artificiales		Edulcorantes naturales sin calorías	Luo han guo, estevia, taumatina, pentadina, monelina, brazzeína
No calóricos	Artificiales	Edulcorantes artificiales	Aspartame, sucralosa, sacarina, neotamo, acesulfame K, ciclamato, neohesperidina DC, alitamo, advantamo

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la ISO (2012) considera que los edulcorantes pueden dividirse, primero entre calóricos y no calóricos, y a su vez estos últimos entre naturales y sintéticos. Los edulcorantes no calóricos naturales se dividen a su vez entre los denominados edulcorantes de baja potencia (principalmente polioles del azúcar, tagatosa y trehalosa) y edulcorantes de alta potencia, algunos ejemplos de este tipo son los derivados de la estevia (*Stevia rebaudiana*) y el luo han guo (*Siraitia grosvenorii*). Sin embargo, también considera que los edulcorantes no calóricos son intensamente dulces y generalmente sólo se necesitan en cantidades minúsculas para endulzar los alimentos. Finalmente, sugiere que entre los edulcorantes “no calóricos”, se incluyen algunos que sí tienen valor calórico (Figura 1), pero que al incorporarse a los alimentos en cantidades tan ínfimas les añaden un volumen de calorías insignificante o nulo.

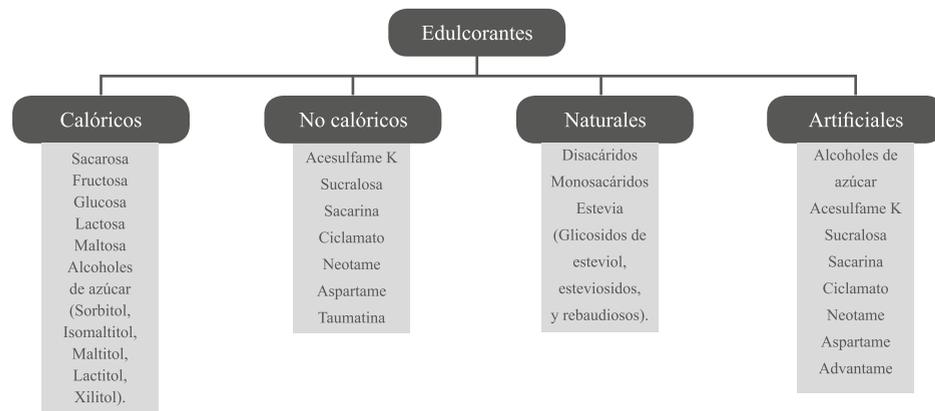
Figura 1. Clasificación de los edulcorantes. La potencia es el poder endulzante relativo de un edulcorante comparado con la sacarosa (al mismo peso).



Fuente: adaptado de Organización Internacional del Azúcar (ISO, 2012).

A su vez, González (2013) clasifica a los edulcorantes de forma lineal, es decir, los considera en cuatro grupos, considerando las categorías correspondiente al contenido calórico y el origen, como se presenta en la siguiente figura.

Figura 2. Clasificación de los edulcorantes de acuerdo a González (2013).



Fuente: elaboración propia.

### 1.2.2 Por su aporte al valor nutritivo

De acuerdo con la Administración Federal de Alimentos y Fármacos (FDA, por sus siglas en inglés) y la Unión Europea (UE), los edulcorantes se clasifican con base en su aporte nutritivo (nutritivos y no nutritivos) y el poder endulzante de cada sustancia en comparación con la sacarosa o azúcar común, de acuerdo al volumen (Gil-Campos *et al.*, 2015) (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los edulcorantes según la Administración Federal de Alimentos y Fármacos (FDA) y la Unión Europea (UE).

Edulcorantes	Clasificación por aporte calórico <sup>a</sup>	Clasificación por poder endulzante <sup>b</sup> (de volumen)
Sorbitol E-420	Nutritivo	0.5-1
Manitol E-421	Nutritivo	0.7
Isomalt E-953	Nutritivo	0.45-0.65
Maltitol E-965	Nutritivo	1
Lactitol E-966	Nutritivo	0.5
Xilitol E-967	Nutritivo	1
Eritritol E-968	No nutritivo	0.7
Acesulfamo potásico E-950	No nutritivo	Intensivo (200)
Aspartame E-951	Nutritivo	Intensivo (150-200)
Ciclamato E-952	No nutritivo	Intensivo (50-100)
Sacarina E-954	No nutritivo	Intensivo (300-400)
Taumatina E-957	Nutritivo	Intensivo (2500)
Neohesperidina DC E-959	Nutritivo	Intensivo (250 y 2000)
Neotame E-961	No nutritivo	Intensivo (7000-13000)
Sucralosa E-955	No nutritivo	Intensivo (600)
Glucósido de esteviol E-960	No nutritivo	Intensivo (350-400)

<sup>a</sup> En edulcorantes intensivos nutritivos el aporte energético a la dieta es insignificante, porque la cantidad de producto consumido es muy pequeña.  
<sup>b</sup> Entre paréntesis, valor del poder endulzante relativo a la sacarosa (valor 1).

Fuente: elaboración propia.

En la norma oficial mexicana NOM-086-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 1996), por disposición de la Secretaría de Salud y publicada en el Diario Oficial de la Federación, se menciona la clasificación de los azúcares de acuerdo a su denominación:

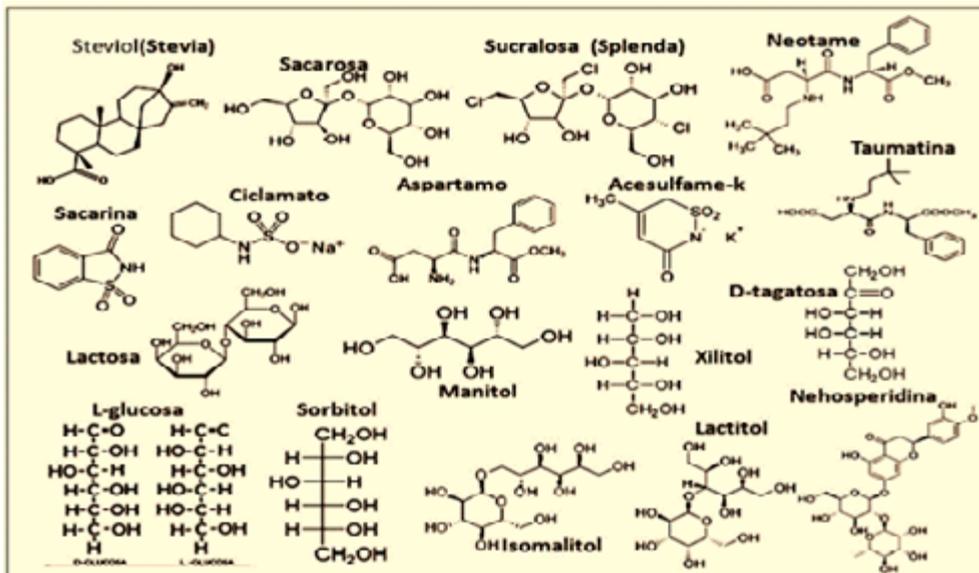
“Los productos con menor contenido de azúcar son aquellos a los que se les ha reducido parcial o totalmente el azúcar, denominándose de acuerdo a lo siguiente:

- Producto sin azúcar: su contenido de azúcar es menor a 0.5 g/porción.
- Producto reducido en azúcar: el contenido de azúcar se ha reducido por lo menos en un 25 % del contenido del alimento original o de su similar.” (Diario Oficial de la Federación (DOF), 26 de junio de 1996).

### 1.2.3 Por su estructura química

La estructura química de estas sustancias determina una mayor potencia edulcorante en su interacción con los receptores del gusto y una menor absorción por el tracto digestivo, por lo que tienen un contenido calórico útil menor que el del azúcar. De acuerdo con García-Almeida *et al.* (2013), se clasifican conforme a la Figura 3, los mismos autores advierten que la cantidad consumida se puede relacionar con sus efectos secundarios gastrointestinales.

Figura 3. Clasificación de los edulcorantes según su estructura química.



Fuente: elaboración propia.

### 1.2.4 Otros tipos de clasificación

Otra clasificación es la realizada por Echavarría-Almeida en 2012, en la que propone clasificar a los edulcorantes por su origen (nutritivos y no nutritivos o intensos), por su estructura (hidratos de carbono, alcoholes polihídricos, glucósidos, proteósidos y otros), por su valor nutritivo (nutritivos y no nutritivos) y por su valor calórico (dietéticos y no dietéticos), como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Tipos de edulcorantes.



Fuente: Echavarría-Almeida en (2012).

Una clasificación poco difundida en el ámbito científico, pero de gran interés político, es la discutida desde 2013 en la Cámara de Diputados, que en sus boletines ha informado sobre las modificaciones al Impuesto Especial sobre Producción y Servicios [IEPS] en productos con alta densidad calórica, debido a los cambios en los hábitos de consumo que han sucedido en los últimos años y que consiste en el consumo de una mayor cantidad de alimentos con alto contenido energético, denominados ‘productos chatarra’. Dicha iniciativa establece:

“El 31 de Octubre del 2013, la Cámara de Diputados en su Nota No. 4842 menciona que se hicieron reformas a las leyes del IVA, ISR, IEPS Y Federal de Derechos. El presidente de la Comisión de Hacienda y Crédito

Público (SHCP). En la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), se incrementa de 5 a 8 % la tasa del impuesto a alimentos no básicos con alta densidad calórica, la llamada “comida chatarra en bebidas saborizadas (refrescos) se incluye como azúcares a los polisacáridos que sirvan como edulcorantes y sean calóricos.\*

Finalmente, resulta preocupante el hecho de que, entre los años 1999 y 2014, el consumo de bebidas con alto contenido calórico se haya duplicado entre los adolescentes y triplicado entre los adultos mexicanos, ya que las bebidas azucaradas representan productos con alta densidad energética, pero bajo aporte nutricional, incidiendo en el aumento de peso. Estadísticas muestran que los mexicanos consumen cerca de 163 litros de refresco al año, superando en 40 % el consumo de un estadounidense promedio (118 litros anuales)<sup>1</sup>, lo que nos convierte en el país consumidor de refrescos número uno a nivel mundial.

El azúcar es una importante fuente de energía y los sustitutos, en la mayoría de los casos no presentan aporte calórico significativo. Por lo tanto una forma de clasificar a los azúcares debería ser por su densidad calórica (DC) o densidad energética (DE), estos términos se refieren a la cantidad de energía, expresada en kilocalorías por cada 100 gramos de alimento, y se obtiene al multiplicar las kilocalorías que contiene el alimento por cien y el resultado dividido entre los gramos de la porción de que se trate (Anexo 6 de la Resolución Miscelánea Fiscal para 2014, DOF 21 de julio de 2014).

Una gran densidad calórica se encuentra en alimentos que, a pesar de su bajo volumen, tienen gran cantidad de calorías: una barra de chocolate tiene una mayor DC con respecto a una zanahoria. En general los alimentos altos en DC traen poca concentración de agua y gran cantidad de grasa.

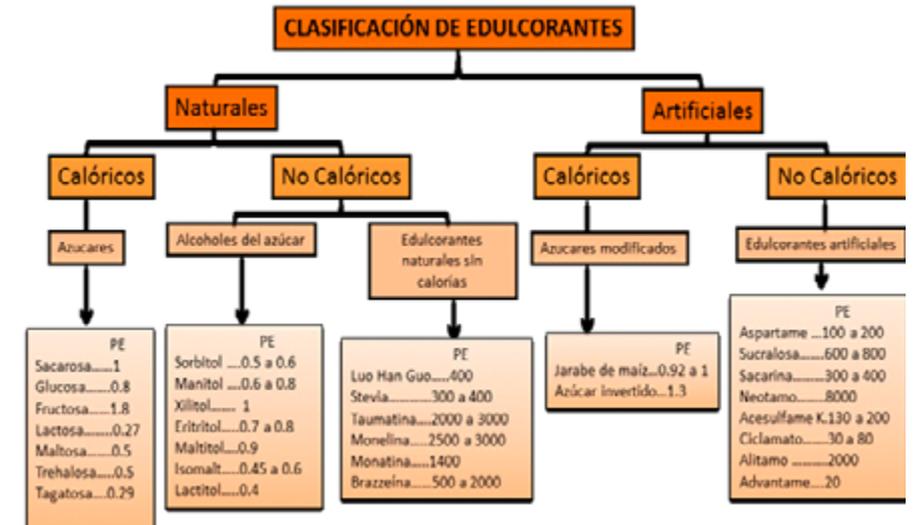
Este tema ha causado controversia debido a la situación económica actual por la que atraviesa el país, donde la mayor cantidad de productos con alta densidad calórica son los más accesibles a la población.

### 1.2.5 Propuesta de una nueva clasificación

Con base en lo anterior, se propone una clasificación que ordena en primer lugar el origen del edulcorante (natural/artificial), el aporte calórico, grupo al que pertenece, tipo de edulcorante y, finalmente, el poder edulcorante, tal como se aprecia en la Figura 5. La clasificación está basada en la propuesta de García-*et al.*, (2013) y López y Canales (2004). Esta clasificación tiene la ventaja de evitar repeticiones de los edulcorantes, pues permite diferenciarlos con mayor claridad.

<sup>1</sup> Fuente: <http://www.oxfamMexico.org/mexico-es-ya-el-mayor-consumidor-de-refresco-en-el-mundo-3/#.V4Pr6aJMa2k>  
<sup>\*</sup> [http://www3.diputados.gob.mx/camara/005\\_comunicacion/b\\_agencia\\_de\\_noticias/009\\_2013/10\\_octubre/31\\_31/4842\\_avalan\\_diputados\\_cambios\\_que\\_el\\_senado\\_hizo\\_a\\_reformas\\_de\\_las\\_leyes\\_del\\_iva\\_isr\\_ieps\\_y\\_federal\\_de\\_derechos\\_y\\_remite\\_documento\\_al\\_ejecutivo](http://www3.diputados.gob.mx/camara/005_comunicacion/b_agencia_de_noticias/009_2013/10_octubre/31_31/4842_avalan_diputados_cambios_que_el_senado_hizo_a_reformas_de_las_leyes_del_iva_isr_ieps_y_federal_de_derechos_y_remite_documento_al_ejecutivo)

Figura 5. Clasificación propuesta, elaborada con base en las clasificaciones existentes y descritas en este apartado. (PE: poder edulcorante respecto al azúcar).



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las clasificaciones, es importante recalcar que recientemente se ha puesto sobre la mesa el tema de más impuestos a las calorías, el cual contempla la aplicación del IEPS de 5 % a nueve categorías de alimentos procesados con un alto contenido de calorías por porción, y de 10 % a la enajenación e importación de los mismos. Los dos IEPS se aplicarían a botanas, confitería, chocolate y demás productos derivados del cacao, flanes y pudines; dulces de frutas y hortalizas, cremas de cacahuete y avellanas, dulces de leche, alimentos preparados a base de cereales, así como helados, nieves y paletas de hielo, pues consideran que estos productos contienen una gran cantidad de kilocalorías por gramo, en comparación con otros alimentos, como frutas y verduras, que tienen baja densidad calórica. Estos impuestos se aplicarán a los “alimentos que no proveen una cantidad importante de nutrientes esenciales, tienen potencial para ser innovados y, por lo general, contienen grandes cantidades de sodio y azúcar”. Este impuesto está diseñado con base en las recomendaciones del World Cancer Research Fund International y la Organización Mundial de la Salud.

Los alimentos no básicos de altas calorías estarán gravados cuando su densidad sea de 275 kilocalorías o mayor por cada 100 gramos. En este tratamiento no se incluye a las bebidas, en virtud de que el criterio de densidad calórica como indicador de riesgo de obesidad aplica a alimentos sólidos y no a bebidas (El Economista, <http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2013/10/17/diputados-ponen-mas-im>

puestos-las-calorias). Por lo tanto, en los productos disponibles al consumidor, no sólo es importante conocer el tipo de edulcorante utilizado o su aporte energético, sino también la densidad energética que el producto contiene.

Llama la atención que, antes de noviembre de 2015, la Cámara de Diputados aprobó en lo general la Miscelánea Fiscal para 2016, en la que incluyen la reducción de 50 % a la cuota de un peso por concepto de IEPS que pagan las embotelladoras de refrescos, siempre y cuando las bebidas que producen tengan menos de cinco gramos de azúcar por cada cien mililitros (<http://eleconomista.com.mx/foro-economico/2015/10/21/se-reduce-impuesto-refrescos>), mismo gravamen aprobado en 2013 con objetivo de reducir los problemas de obesidad entre la población. La aprobación no sólo tendría efectos en el consumo de los productos, sino también efectos económicos directos por recaudación fiscal, dado el posible incremento al consumo de dichos productos. El argumento principal de la reducción es que las empresas embotelladoras utilicen cada vez menos azúcar en sus productos (<http://www.jornada.unam.mx/2015/10/24/politica/013n1pol>).

### 1.3 Descripción de los principales edulcorantes

Conforme a la clasificación propuesta (ver Figura 5), se describen a continuación las características de cada uno de los edulcorantes, tomando en consideración su origen y aporte calórico.

#### 1.3.1 Naturales calóricos: azúcares

Para la elaboración de un gran número de alimentos, la industria ha empleado tradicionalmente diversos mono y disacáridos, como la glucosa, la sacarosa, el azúcar invertido y la lactosa. Los azúcares provienen de fuentes naturales como la caña de azúcar, la remolacha, los almidones, las frutas, entre otros; su obtención implica el uso de tecnología especializada que, afortunadamente, ha evolucionado gracias a la creación de equipos que optimizan los procesos, a la recuperación de la energía liberada en el proceso de obtención, a la automatización y, en resumen, a la reducción de costos.

**Fructosa:** conocida como el azúcar de la fruta, es el más dulce de todos los azúcares naturales, se encuentra principalmente en frutas y en la miel (López y Canales, 2004). Tiene un poder edulcorante mayor que la sacarosa, pero metabolizada más lentamente que la glucosa, y por esto es ampliamente utilizada en productos para diabéticos (Salmerón, 2008). Proporciona 4 kcal gr<sup>-1</sup> al igual que la sacarosa, pero con un poder edulcorante 1.8 veces mayor y con costos de producción menores (Badui, 2006). La fructuosa realza el sabor, color y estabilidad del producto, y produce una elevación más lenta de los niveles de glucemia. También se utiliza como edulcorante sinérgico con la sacarosa y otros edulcorantes intensos y puede adicionarse a los alimentos y bebidas en forma cristalina o como JMAF (Navarro, 2012).

**Glucosa:** conocida como azúcar de la uva o dextrosa, tiene un alto valor nutricional en la elaboración de alimentos, porque permite formar otros hidratos de carbono complejos (Salmerón, 2008). Tiene un poder edulcorante mucho menor (0.8) que la sacarosa, y sigue teniendo el mismo valor calórico que la sacarosa (4 kcal gr<sup>-1</sup>) (Salmerón, 2008). Es un tipo de azúcar muy viscoso que se usa en pastelería para determinados preparados y que ofrece mejores resultados que la sacarosa (azúcar), ya que no se cristaliza con la misma facilidad. La función principal de la glucosa es proporcionar diversas características a un producto que se reflejan desde la cocción hasta la presentación del mismo, como son: cuerpo, textura dulzura, equilibrio adecuado de azúcares en las formulaciones, control de cristalización, brillo, maquinabilidad, viscosidad, depresión del punto de congelamiento, aumento de la presión osmótica, pardeamiento y humectación (Sánchez, 2014).

**Lactosa:** se encuentra exclusivamente en la leche de los mamíferos; es un disacárido con características de los azúcares reductores. Es utilizada por los organismos superiores o por los microorganismos, solamente cuando se produce la hidrólisis de la lactosa (Alais, 2003). Presenta solubilidad y dulzor muy bajos, con tan solo un 0.27 de poder edulcorante respecto de la sacarosa (Badui, 2006).

**Maltosa:** se encuentra comúnmente en la cebada y en los hidrolizados de maíz y de almidones. No es tan dulce como la glucosa (0.5), pero tiene una dulzura aceptable; es fermentable, soluble en agua, y no cristaliza fácilmente (Badui, 2006). Existen fundamentalmente tres tipos de jarabes maltosados: jarabes con alto contenido de maltosa (JACM), jarabes con extremadamente alto contenido de maltosa (JEACM) y jarabes maltosados de alta conversión (JMAC). Los tres tipos son ampliamente utilizados en la industria de bebidas por su alta higroscopicidad, baja viscosidad en solución, resistencia a la cristalización, menor tendencia al oscurecimiento y alta estabilidad térmica (López y Canales, 2004).

**Sacarosa:** llamada comúnmente azúcar de mesa, es el edulcorante más conocido en la industria y el hogar. Se trata de un disacárido compuesto de glucosa y fructosa, extraído de la caña de azúcar y de la remolacha azucarera (López y Canales, 2004). Es el químico orgánico más abundante en el mundo. Su hidrólisis parcial se aprovecha comercialmente en la elaboración de azúcar invertido empleado en bebidas, al reducir el porcentaje de azúcar necesario para proporcionar un dulzor determinado (Badui, 2006). Se compone principalmente por 50 % de fructosa y 50 % de glucosa. También tiene funciones estructurales y de imagen, según el alimento en el que se aplique, ya que aumenta la viscosidad del medio, aportando volumen y textura, y da lugar a reacciones de caramelicización que genera colores deseados en algunos productos (Cubero *et al.*, 2002).

**Tagatosa:** se encuentra presente en pequeñas cantidades en frutas, cacao y productos lácteos. Es un polvo cristalino blanco casi inodoro con un poder endulzante 0.92 más bajo que la sacarosa y un contenido calórico de 1.5 kcal gr<sup>-1</sup> (Sánchez, 2014).

**Trehalosa:** se encuentra de forma natural en hongos y moluscos (Ravelo y Ramos, 2009). Tiene un dulzor de 0.5 veces con respecto a la sacarosa y un menor valor calórico de 3.6 kcal gr<sup>-1</sup> (ISO, 2012). Ha demostrado ser un estabilizador de enzimas, proteínas, biomasas, preparaciones farmacéuticas y órganos para el trasplante; protege a las células de los efectos de congelamiento y deshidratación y es el único azúcar capaz de proteger las biomoléculas del estrés ambiental. Está ampliamente distribuido en la naturaleza, siendo estable, inodoro y no reductor (Ravelo y Ramos, 2009).

### 1.3.2 Naturales no calóricos: alcoholes del azúcar (polioles)

Los polioles también son conocidos como alcoholes polihídricos o edulcorantes de carga (aumentan el volumen del producto alimentario sin contribuir significativamente a su valor calórico). Por tanto, edulcorantes como el azúcar y el jarabe de alta fructuosa de maíz no son polioles, porque sí aportan calorías. Los polioles son derivados de carbohidratos cuyos únicos grupos funcionales son los grupos hidroxilos, por lo que son hidrosolubles y de viscosidad moderada cuando se disuelven en agua a elevadas concentraciones. A pesar que existen numerosos polialcoholes, sólo unos pocos son importantes en los alimentos. Sin embargo, su uso está aumentando debido a la demanda de sus propiedades al ser edulcorantes bajos en calorías con un poder edulcorante inferior o igual al de la sacarosa (Cubero *et al.*, 2002). A continuación se describen alfabéticamente.

**Eritritol:** se le encuentra en forma natural en frutas como peras, uvas, melones, entre otros; en champiñones y en productos derivados del proceso de fermentación incluido el vino, la salsa de soja y el queso (Arango, 2010). Tiene un poder edulcorante de 0.7-0.8 con respecto al de la sacarosa, su principal ventaja respecto al resto de polioles es el bajo poder calórico que presenta (0.2 kcal gr<sup>-1</sup>) (Cubero *et al.*, 2002). Es muy estable porque no reacciona con la mayoría de los ingredientes activos, resiste almacenamiento y permanece intacto a cambios extremos de temperatura. Se considera apto para diabéticos (Arango, 2010; Sánchez, 2014).

**Isomaltitol:** es inodoro, cristalino y no higroscópico, con un poder sensorial muy agradable, un valor calórico de 2.0 kcal gr<sup>-1</sup> y un dulzor con respecto a la sacarosa de 0.45-0.6 menor (O'Brien, 2012).

**Lactitol:** se produce a partir de lactosa (Arango, 2010). Con un poder endulzante 0.4 veces menor respecto al azúcar y con un poder calórico de 2.0 kcal gr<sup>-1</sup> (ISO, 2012).

**Maltitol:** es uno de los polioles menos higroscópico y no llega absorber humedad de la atmosfera. Su dulzor con respecto a la sacarosa es de 0.9 veces con un aporte calórico de 2.1 kcal gr<sup>-1</sup> (O'Brien, 2012).

**Manitol:** se le puede encontrar en una gran variedad de alimentos como las calabazas, champiñones, cebollas, apio, aceitunas y remolachas (Arango, 2010). Es un

polvo cristalino e inodoro de sabor dulce, con un poder edulcorante de 0.6-0.8 con respecto a la sacarosa. Es muy estable químicamente y al calor (Repetto y Camean, 2006).

**Sorbitol:** se produce naturalmente en frutas como peras, melocotones, ciruelas y manzanas, entre otras. Es el principal azúcar presente en las hojas así como en las bayas. El sorbitol tiene un dulzor de 0.5 a 0.6 veces menor que el dulzor de la sacarosa, con la ventaja de que presenta menos calorías (2.6 kcal gr<sup>-1</sup>) Es un excelente humectante y agente texturizante. Tiene una sensación suave en la boca, sabor dulce, fresco y agradable. No produce caries y puede ser útil para las personas con diabetes (CCC, 2013).

**Xilitol:** se encuentra en pequeñas cantidades en ciertas frutas, hortalizas y cereales (Cubero *et al.*, 2002). Es un polvo prácticamente inodoro, blanco, cristalino, de sabor dulce con un poder endulzante y aporte calórico igual al de la sacarosa (Repetto y Camean, 2006).

### 1.3.3 Naturales no calóricos: edulcorantes naturales sin calorías

Los sustitutos naturales poseen dulzor y densidad energética; se encuentran en bayas, frutos, verduras, setas y hojas. Los edulcorantes derivados de la estevia y el *luo han guo* son los dos EAI naturales más conocidos, pero también se están comenzando a comercializar proteínas dulces. Edulcorantes bajos en calorías como los polioles son otro gran grupo de sustitutos naturales del azúcar (ISO, 2012).

**Esteviósido:** la estevia es una planta originaria de las laderas montañosas de Paraguay y Brasil. Su nombre científico es *Stevia rebaudiana* Bertoni, pero popularmente se le conoce como *hierba dulce del Paraguay*. En muchas partes del mundo se cultiva orgánicamente y sin pesticidas (González-Moralejo, 2011). Las hojas han sido utilizadas para endulzar los alimentos debido a su extraordinario sabor dulce teniendo un poder edulcorante de hasta 400 veces mayor a la sacarosa (Liu *et al.*, 2010).

La estevia es de 25 a 30 veces más dulce que el azúcar, y su extracto 400 veces más dulce, sin nutrientes, sin calorías, se puede hornear, es estable a los 200 °C, no se fermenta, no crea placa dental, se le considera anticancerígeno, no se hace caramelo al calentarse, ni se llega a cristalizar tal como el azúcar; sus glucósidos no afectan la concentración de glucosa en sangre, por lo que resultan totalmente apto para diabéticos y especialmente útiles en dietas hipocalóricas (González-Moralejo, 2011).

Esta planta tiene un gran potencial como un nuevo cultivo agrícola ya que la demanda de los consumidores de alimentos a base de hierbas está aumentando, y un análisis proximal ha demostrado que la estevia también contiene ácido fólico, vitamina C y todos los aminoácidos indispensables con excepción de triptófano. La estevia se muestra como un edulcorante natural viable para la población que debe restringir la ingesta de carbohidratos en su dieta, disfrutando del sabor dulce con un mínimo de calorías (Lemus-Mondaca *et al.*, 2012).

**Brazzeína:** es una proteína dulce que se encuentra en una planta salvaje africana llamada *Pentadiplandra brazzeana* Baillon. Es consumida por varias etnias gabonesas desde hace centenares de años (Pijoan, 2006). En estado natural es llamada pentadina, una vez aislada y purificada se le denomina brazzeína (Van der Wel *et al.*, 1989). El perfil temporal se asemeja mucho al de la sacarosa, pero se desarrolla más lentamente y dura más tiempo, además de no presentar un regusto metálico o amargo como otros edulcorantes sin calorías. Tiene un poder de endulzar entre 500 y 2,000 veces más que la sacarosa, con un sabor muy similar a esta (Schmelzer y Gurib-Fakim, 2008)

**Luo han guo:** es un fruto cuyo nombre científico es *Siraitia grosvenori*, antes llamada *Momordica grosvenori*, perteneciente a la familia de las Cucurbitaceae (calabazas) (Yeouruenn, 1995). Se ha utilizado durante siglos en China por su sabor dulce y propiedades medicinales. Hay descripciones de su cultivo desde 1813 y escritos históricos de su uso como bebida medicinal desde hace más de 800 años (Swingle, 1941). En Asia, el luo han guo es conocida como la “fruta de la longevidad” y se ha utilizado como un edulcorante natural (sin elevar el azúcar en sangre) durante casi un milenio. En la actualidad es comercializado bajo la marca PureLo® (Figura 6) que es un concentrado en polvo no calórico (Maronea *et al.*, 2008). Los frutos de luo han guo (Figura 6) son intensamente dulces, alrededor de 300 veces más dulces que el azúcar, de modo que los extractos son de 250 a 400 veces más dulces que el azúcar (Hsu, 1986).

**Monatina:** es un aminoácido natural extraído de la corteza de la raíz de la planta *Schlerochiton ilicifolius* oriunda del norte de Sudáfrica, .Es 1,400 veces más dulce que el azúcar, además de no tener un regusto metálico amargo o ácido, más dulce que la sucralosa, y carece del regusto a regaliz asociado a los edulcorantes a base de estevia (Sánchez, 2014).

**Monelina:** es una proteína dulce extraída de la pulpa del fruto *Discoreophyllum cumminsii*, conocida en el oeste de África como ‘Ekali-bonte’, ‘kaligbonde’, ‘ito-igbin’, ‘ayun-ita’ y ‘serendipity berries’; con un poder endulzante de 2,500 a 3,000 veces mayor que la sacarosa (Alonso, 2010). Proporciona un sabor azucarado agradable, aunque la lenta percepción del sabor dulce y el regusto dulce muy persistente final limitan su uso. Aunque resiste temperaturas de 60–65 °C, al incrementarse desde 70 a 100 °C va perdiendo su sabor dulce, hasta desaparecer (Repetto, y Camean, 2006).

**Taumatina:** se obtiene aislada del fruto de la planta *Thaumatococcus daniellii*, la cual se encuentra en la región tropical del Oeste de África. Son proteínas con un sabor muy dulce y tienen la capacidad de aumentar la palatabilidad (actualización o mejora de otros sabores) de los alimentos Presenta un poder edulcorante de 2,000 a 3,000 veces mayor respecto a la sacarosa (Repetto y Camean, 2006).

Figura 6. Presentación del producto PureLo y el fruto de Lo han guo.



#### 1.3.4 Edulcorantes artificiales calóricos: azúcares modificados

**Azúcar invertido:** se conoce con este nombre a la mezcla de azúcares producida cuando la sacarosa se hidroliza química o enzimáticamente. Se produce naturalmente en la miel de abeja y en los jugos de frutas con pH ácido que sufren algún tratamiento térmico; es más fácilmente fermentable que la sacarosa y su color es más oscuro. Por la presencia de la fructosa, el azúcar invertido es 1.3 más dulce que la sacarosa. En la actualidad, la industria ha desarrollado muchos jarabes de sacarosa que reciben el nombre genérico de azúcar líquido. Su aplicación en productos comerciales es importante, ya que ayuda a controlar la cristalización, realzar el sabor y alongar los tiempos de conservación, retardando la oxidación de otras sustancias (Badui, 2006).

**Jarabe de Maíz de Alta Fructosa (JAFM):** es un producto transparente y líquido, con notables propiedades de pureza, obtenido de la molienda húmeda del grano de maíz. Existen dos tipos de JMAF, de acuerdo al contenido de fructosa: el JMAF-42 y el JMAF-55. El JMAF-42 contiene 42 % de fructosa, 53 % de glucosa y 5 % de otros azúcares como Maltosa y Dextrosa. El JMAF-55 contiene 55 % de fructosa, 41 % de glucosa y 4 % de otros azúcares. Ambos pueden contener hasta un 20 % de agua (Kasangian, 2010). Es un jarabe muy dulce (Figura 7). Si se considera el poder endulzante de la sacarosa como 100, el de la fructosa es de 170, llegamos así a que el JMAF-55 tiene un poder endulzante de 130, mientras que el de la glucosa es de 74 (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2000).

Figura 7. Jarabe de maíz de alta fructuosa



### 1.3.5 Edulcorantes artificiales no calóricos: edulcorantes artificiales

**Acesulfamo de potasio:** descubierto en 1967 y comercializado hasta 1988, es un polvo cristalino blanco que mantiene sus propiedades sensoriales en un intervalo amplio de pH y temperatura (>100 °C). Es hasta 200 veces más dulce que la sacarosa (Federación Argentina de Graduados en Nutrición [FAGRAN], 2007) y su dulzor se percibe muy rápidamente, pero también decae con facilidad; el sabor es muy limpio y sin aparición de gustos cuando se utiliza en concentraciones elevadas. Es sinérgico con otros edulcorantes y puede enmascarar sabores residuales de éstos (Cubero *et al.*, 2002).

**Advantamo:** es un polvo blanco amarillento con un punto de fusión de 101.5 °C, estable en forma seca, en los sistemas líquidos como los refrescos la degradación se produce a través del tiempo. En cuanto a calidad, se describe como limpio, dulce y similar al del aspartame, con presencia de notas amargas débiles. En almacén la pérdida de dulzura es casi imperceptible (O'Donnell y Kearsley, 2012).

**Alitamo:** se deriva de los aminoácidos alanina y ácido aspártico. Fue desarrollado por Pfizer en la década de los 80, actualmente es comercializado en México, Australia y Nueva Zelanda con el nombre de Aclame<sup>®</sup> (Mortensen, 2006). Es 2,000 veces más dulce que la sacarosa, con un sabor similar a ésta (Sánchez, 2014), con una contribución al valor calórico insignificante. No tiene cualidades amargas o metálicas como otros edulcorantes, por lo que se usa en mezclas con otros edulcorantes sintéticos con el fin de eliminar los sabores residuales de estos, especialmente el metálico (Mortensen, 2006).

**Aspartame:** es 200 veces más dulce que el azúcar y aporta cuatro calorías por gramo (Polyák *et al.*, 2010). Contiene fenilalanina, por lo que su consumo ex-

cluye a personas que padecen fenilcetonuria (la incapacidad de metabolizar el aminoácido tirosina a partir de fenilalanina en el hígado), por esta razón los productos que contienen aspartame deben indicar en la etiqueta “Fenilcetonúricos: contiene fenilalanina”. Este producto fue aprobado inicialmente por la FDA (Food and Drug Administration) en 1980, con algunas restricciones, las cuales fueron anuladas en 1986, quedando el producto, a partir de entonces, libre de restricciones para su registro y venta (Melis *et al.*, 2009). El aspartame y la fenilalanina, como todos los aminoácidos, pueden metabolizarse, por lo que el aspartame no está libre de calorías (Voet *et al.*, 2009). Sin embargo, de acuerdo a lo sugerido por Sánchez (2014), debido a su intensa capacidad edulcorante le permite ejercer su función a niveles muy bajos que apenas aportan calorías.

**Ciclamato:** es de 30 a 50 veces más dulce que el azúcar (sacarosa) y tiene un cierto gusto desagradable, que desaparece cuando se utiliza en otras combinaciones como lo son ciclamato-aspartame o ciclamato-aspartame-sacarina. Presenta un sabor de mayor aceptación que la sacarina; fue descubierto en 1937. Es un polvo blanco cristalino inodoro, con amplio margen de estabilidad a elevadas temperaturas (resiste hasta 500 °C) y al almacenamiento. Su alta solubilidad en agua le ha permitido ser ampliamente utilizado en la elaboración de bebidas y en todo tipo de procesados. El dulzor que proporciona se alcanza de forma lenta siendo duradero sin aparición de gustos finales desagradables (Cubero *et al.*, 2002).

**Neotamo:** es el edulcorante más recientemente lanzado al mercado mundial (Bannwart *et al.*, 2007). Su estructura es muy similar a la del aspartame (polvo color blanco), tiene un poder endulzante que oscila entre 8,000 a 13,000 veces mayor que el azúcar común, su consumo por tanto debe ser en muy pequeñas cantidades. Fue aprobado por la FDA para uso general en julio de 2002, pero todavía no es ampliamente utilizado en productos alimenticios (Durán *et al.*, 2013). Se metaboliza rápidamente, se elimina por completo y no se acumula en el cuerpo, sin embargo su ingestión libera metanol en el organismo que lo consume. No obstante las cantidades producidas son mínimas en comparación con las que se liberan en la ingestión de jugos de frutas y verduras, en virtud de que se necesitan cantidades muy pequeñas de neotamo para endulzar los alimentos (Sánchez, 2014).

**Sacarina de sodio:** el edulcorante más antiguo, es aproximadamente 300 veces más dulce que el azúcar y no aporta calorías (Polyák *et al.*, 2010). La sacarina es absorbida lentamente en el intestino y no se metaboliza en el organismo humano, siendo excretada rápidamente en la orina (Navarro, 2012). Es un polvo blanco cristalino anhidro (sin agua), no higroscópico y poco hidrosoluble. La forma que tiene mayor poder edulcorante es la sódica dihidratada, pero presenta el inconveniente de dejar cierto sabor residual amargo o “metálico”, lo que ha supuesto su eliminación de ciertos productos al descubrirse otros edulcorantes con mejores propiedades organolépticas (Cubero *et al.*, 2002).

**Sucralosa:** es un edulcorante de bajas calorías desarrollado en conjunto por las empresas McNeil Nutritionals, LLC de Johnson & Johnson y, Tate y Lyle, comercializado bajo la marca SLENDA® (Calorie Control Council [CCC], 2013). Tiene una estructura similar al azúcar, aunque es 600-800 veces más dulce (Gil y Ruíz, 2010). Es resistente a las altas temperaturas (con un elevado grado de cristalinidad y alta solubilidad en agua, propiedades que la hacen cada vez más demandada en la industria de bebidas y alimentos, por retener el sabor dulce durante todos los procesos de fabricación. Su sabor es muy semejante al de la sacarosa y sin resabio amargo. El cuerpo humano no utiliza la sucralosa en sus procesos de generación de energía, ésta pasa rápidamente a través de él prácticamente inalterada. El 85 % de la sucralosa ingerida es eliminada por las heces y el restante 15 % por la orina (Roberts *et al.*, 2000).

### 1.3.6 Edulcorantes de alta intensidad

A los edulcorantes artificiales también se les llama edulcorantes de alta intensidad o intensos, esto por proporcionar un poder edulcorante muy superior al de la sacarosa. En el mercado pueden encontrarse como edulcorantes no nutritivos ya que proporcionan la misma sensación de dulzor que ofrece la sacarosa, pero con una reducción considerable de calorías. Esto es posible debido a que se imitan los componentes de la sacarosa y sus interacciones con los receptores del gusto pero no se metabolizan, lo que contribuye muy poco al metabolismo energético, en gran medida porque se usan en concentraciones muy bajas (Voet *et al.*, 2009).

Entre las principales características de los edulcorantes intensos se encuentran una alta intensidad de dulzor, aporte de calorías insignificante o nulo, ausencia de funciones tecnológicas (no son higroscópicos, no caramelizan, no confieren textura); lo que les hace ser apropiados para la población con problemas de diabetes, además de no provocar caries (Cubero, *et al.*, 2002). Sin embargo, los edulcorantes intensos no suplen todas las funciones que la sacarosa aporta a un alimento; en productos en los que se desea una función estructural de aumento de viscosidad, o una función estética de caramelización, la sacarosa suele ser la prioridad (Cubero *et al.*, 2002) (Tabla 3).

Entre los EAI artificiales (edulcorantes químicos) más conocidos están la sacarina, los ciclamatos, el aspartame y el acesulfame-potásico (k). Otros edulcorantes de más reciente creación son la sucralosa (empleada en la producción de frituras), el neotamo y el alitamo (éste ha dejado de ser comercializado por su fabricante, Pfizer). La mayoría de los EAI artificiales poseen baja o nula energía calórica respecto de los EAI naturales, por lo que no es posible realizar una comparación de dulzores en base al contenido energético. Los EAI artificiales suelen aportar un dulzor persistente y cierto regusto (amargo o metálico), por esta razón se comercializan modificadores que alteran estas dos características (ISO, 2012).

Debido a la mejora en los sabores, desde el aspecto cualitativo como cuantitativo, y el ahorro en costos de producción, el consumo de los EAI no calóricos ha ganado popularidad en la industria de alimentos y bebidas.

Tabla 3. Presentación, dosis máxima de consumo y advertencias para algunos edulcorantes sintéticos.

Edulcorante	Presentación	Dosis máxima de consumo	Advertencias
Sacarina	Presentaciones de mesa	20 mg	
	Bebidas no alcohólicas	40 mg por 100 g del producto	
	Alimentos elaborados	30 mg por porción	
Aspartame	BPF		“Fenilcetonuricos: contiene fenilalanina”;
Acesulfame potásico (acesulfame K)	BPF		
Sorbitol	Caramelos	No más del 99 %	“Contiene sorbitol: el abuso de este edulcorante puede causar efectos laxantes”
	Chicles.	No más del 75 %	
	Para dulces blandos, chocolates y pastillas de menta.	No más del 98 %	
	Mermeladas, jaleas, mezclas para hornear y productos horneados.	No más del 30 %	
	Postres fríos: nieves y helados de leche.	No más del 17 %	
Xilitol y manitol	BPF		
Sucralosa	Presentaciones de mesa de acuerdo a las BPF.	No más de 0,1 %	
	Cereales para desayuno.	No más de 0,025 %	
	Bebidas	No más de 0,025 %	
	Postres y rellenos	No más de 0,15 %	
	Gomas de mascar	No más de 0,045 %	
	Jaleas.	No más de 0,04 %	
	Aderezos.	No más de 0,07 %	
	Dulces.	No más de 0,065 %	
	Consumo como azúcar.	No más de 0,04 %	
Mezclas para hornear y productos de panadería	No más de 0,15 %		
Isomalt	BPF		“Este producto puede causar diarreas pasajeras y flatulencia”.

BPF: Buenas Prácticas de Fabricación.

Fuente: NOM-086-SSA-1994.

## 1.4 Usos actuales de los edulcorantes

El consumo de edulcorantes de origen diferente a la sacarosa, ha experimentado un notable incremento en los últimos años, ocasionado principalmente por el desarrollo de productos light, de los que se espera un equivalente nivel de dulzura pero con un aporte calórico muy inferior. El grupo más desarrollado es el denominado “edulcorantes artificiales”, los cuales son aditivos alimenticios que persiguen imitar la capacidad de endulzar del azúcar sin el aporte de calorías que ésta proporciona (Arango, 2010); sin embargo, su uso no está exento de polémica, en gran medida porque se desconoce si su consumo regular puede afectar a la salud, qué edulcorante es el más adecuado o qué cantidad máxima se puede ingerir.

El empleo de edulcorantes no calóricos, también llamados acalóricos, como sustitutos de todo o parte del contenido en azúcares de alimentos y bebidas, ha tenido su máxima expansión en los últimos 35 años (García-Almeida *et al.*, 2013). Dentro de los usos principales se encuentran: endulzar alimentos, actuar como conservante en mermeladas y gelatinas, intensificar el sabor en carnes procesadas, fermentar los panes y salsas agrídulces, dar volumen a las cremas heladas, dar cuerpo a las bebidas carbonatadas, pastillas de menta, bebidas de café, cereales, bebidas de té, chicles, bebidas con alcohol, sodas, bebidas de leche, jugos empaquetados, gelatinas, suplementos alimenticios, postres congelados, yogurts, medicamentos y suplementos y laxantes.

Los edulcorantes nutritivos aportan energía a la dieta e influyen sobre los niveles de insulina y glucosa. Los edulcorantes no nutritivos son endulzantes potentes, su aporte energético es mínimo y no afectan los niveles de insulina o glucosa. Esto quiere decir que se reconoce en los edulcorantes artificiales una alternativa para quienes, debido a la diabetes, necesitan moderar su consumo de azúcar (Aguilar, 2008).

A continuación se describen los principales usos que tienen los edulcorantes conforme la clasificación mostrada en la Figura 5, donde se agrupan en edulcorantes naturales (calóricos y no calóricos) y artificiales (calóricos y no calóricos).

### 1.4.1 Edulcorantes naturales calóricos

Edulcorantes naturales o nutritivos. Son los que provienen del azúcar que se encuentra de forma natural en los alimentos. Son de tres tipos: *a*) monosacáridos: glucosa, fructosa, galactosa; *b*) disacáridos: sacarosa, lactosa, maltosa, y *c*) trisacáridos: Trehalosa (Alonso, J.R., 2010). Estos edulcorantes tienen diversas aplicaciones en los productos que consume la población en general (ver Tabla 4).

#### 1.4.1.1 Azúcares

**Sacarosa:** proviene del fruto de la caña, la remolacha y el maíz. El azúcar mascabado contiene vitaminas y minerales, y el refinado carece de nutrientes. Es más

conocida como azúcar de mesa y se produce de forma natural en la mayoría de frutas y verduras. La característica principal es su dulzura. De acuerdo a Garcidueñas (2015), estos son algunos de los usos de la sacarosa:

- Es de uso casero e industrial y por lo tanto la gente utiliza la sacarosa en la preparación de alimentos y bebidas, especialmente en los postres y pasteles.
- Es una fuente de energía para el cuerpo, proporcionando 4 calorías por gramo.
- El azúcar es un conservante natural, ya que extrae la humedad de las bacterias, por esta razón es utilizada para hacer productos tales como mermeladas y jaleas.
- Actúa como una fuente de alimento para los hongos y, éstos a su vez, aceleran el proceso de fermentación.
- Es un cebo no tóxico de plagas como moscas, hormigas y cucarachas ya que son atraídas por el azúcar.
- Las flores cortadas pueden permanecer frescas durante más tiempo si se agrega azúcar al agua del jarrón.
- Como ingrediente en exfoliantes corporales, puesto que es un agente antibacteriano que puede eliminar las células muertas de la piel y el aceite acumulado sobre el cuerpo.

**Glucosa:** se usan frecuentemente en la elaboración de productos dietéticos para diabéticos, porque se absorben muy lentamente. No contribuyen al desarrollo de caries dental, pues las bacterias cariogénicas no pueden metabolizarlos tan rápidamente como el azúcar. Se emplean con frecuencia para edulcorar chicles, caramelos y, en general, productos que pueden permanecer mucho tiempo en la boca. El consumo frecuente de este tipo de productos pudiera tener como efecto negativo acción laxante (Echavarría y Velasco, 2012).

**Fructosa:** la fructosa es el azúcar de las frutas; se obtiene a partir de frutas como higo, uva, manzana, y de algunas hortalizas, en pequeñas proporciones, como la zanahoria, pero por lo general se deriva del maíz. Tiene un potencial de dulzor de 130 veces más dulce que la sacarosa (Osorio, 2007). Se utiliza en industria panadera y repostería, en dulces de confitería, chocolates, mermeladas y jaleas. También en la industria farmacéutica, en helados y yogures, en bebidas alcohólicas y en salsa de tomate (Joyanes, 2014).

**Lactosa:** este es un ingrediente utilizado en la industria de alimentos como agente edulcorante y como sustrato para la fermentación. Entre las aplicaciones más comunes en la que podemos encontrarla son: chocolates envueltos y sin envolver, galletas dulces, pasteles, pastas y dulces; productos lácteos congelados, quesos y yogur, productos para diabéticos, fórmulas lácteas para infantes, jaleas y mermeladas, productos cárnicos. También cabe mencionar que se hace presente en los suplementos alimenticios y alimentos para mascotas (Badui, 2013).

**Maltosa:** conocido como el azúcar de malta, ésta se produce en el proceso de fermentación y por lo tanto es más utilizado en la industria panificadora y cervecera (Badui, 2013).

**Trehalosa:** es un edulcorante de baja intensidad utilizado en la industria de alimentos, principalmente como agente estabilizante y humectante (Osorio, 2007). Según Badui (2013), las aplicaciones más comunes en las que se encuentra son: en té frío listo para beber, leche saborizadas, fideos instantáneos, dulces medicinales, bebidas saborizadas y de frutas, surimi y productos procesados de pescado congelados, panificación, productos en polvo y en la industria farmacéutica.

**Galactosa:** es un edulcorante que no se encuentra de forma libre en la naturaleza, pero es producido a partir de la hidrólisis de la lactosa. Estos son algunos de los usos que se aplican: proporcionan el sabor dulce cuando se agregan a los alimentos, conservan la frescura y calidad del producto, actúan como conservantes en las mermeladas y gelatinas, mejoran el sabor en las carnes procesadas, proporcionan fermentación para los panes y salsas agrídulces, le agregan volumen a las cremas heladas y le dan cuerpo a las bebidas carbonatadas (García, 2013).

Tabla 4. Resumen de los usos principales de los edulcorantes calóricos de origen natural.

Edulcorantes calóricos		
Edulcorante	Clasificación	Usos
Sacarosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En todo tipo de alimentos y bebidas, especialmente en los postres y pasteles.</li> <li>• Elaboración de cerveza y sidra</li> <li>• Como conservante en mermeladas y jaleas.</li> <li>• Aceleran el proceso de fermentación.</li> <li>• Es un agente antibacteriano que puede eliminar las células muertas de la piel.</li> <li>• Panadería.</li> <li>• Bebidas frescas y calientes: café, té, atole y bebidas saborizadas.</li> <li>• Aditivo para tierra de jardinería</li> <li>• Uso como agente abrasivo.</li> <li>• Uso como exfoliante en la piel.</li> </ul>
Glucosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de productos dietéticos para diabéticos. Fabricación de alimentos.</li> <li>• Mermeladas</li> <li>• En la producción de helados disminuye el punto de congelación, se aumenta su dureza</li> <li>• Se emplea con frecuencia para edulcorar chicles, caramelos y, en general, productos que pueden permanecer mucho tiempo en la boca.</li> </ul>
Fructosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza en industria panadera y repostería.</li> <li>• En dulces de confitería, chocolates, mermeladas y jaleas.</li> <li>• Proporciona sabor en categorías de productos de alimentos, bebidas, productos de calorías reducidas y el jugo de concentrados congelados que son vertibles.</li> <li>• En la industria farmacéutica.</li> <li>• Helados.</li> <li>• Yogures.</li> <li>• Bebidas alcohólicas.</li> <li>• Salsa de tomate.</li> </ul>
Lactosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza en la industria de alimentos y como sustrato para la fermentación.</li> <li>• Uso en chocolates envueltos y sin envolver, galletas dulces, pasteles, pastas y dulces.</li> <li>• Productos lácteos congelados, quesos y yogur, y productos para diabéticos.</li> <li>• Se usa en polvo en las comidas, hace que estas se vuelvan más voluminosas y ayuda a retener la humedad.</li> <li>• Ayuda a absorber el colorante de los alimentos e impedir la proliferación del moho.</li> </ul>
Maltosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se añade a la levadura para proceso de fermentación.</li> <li>• Formas solubles de maltosa en agua se introducen en este proceso para ayudar a liberar el etanol y dióxido de carbono.</li> <li>• Es un excelente aditivo para diferentes alimentos envasados, incluyendo bebidas no alcohólicas.</li> <li>• Es importante en la elaboración de cerveza.</li> </ul>
Trehalosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la industria de alimentos.</li> <li>• Té frío listo para beber.</li> <li>• Leche saborizada.</li> <li>• Fideos instantáneos.</li> <li>• Dulces medicinales. Bebidas saborizadas y de frutas.</li> <li>• Surimi y productos procesados de pescado congelados.</li> <li>• Panificación.</li> <li>• Productos en polvo.</li> <li>• Industria farmacéutica.</li> </ul>
Galactosa	Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la industria farmacéutica, es aprovechada en la elaboración de píldoras, grajeas, y leches maternizadas. En la industria química y alimentaria se emplea para incrementar la viscosidad y mejorar la textura de salsas y sopas, en productos de repostería, panadería, confitería, bebidas y cárnicos (salami y jamón).</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

## 1.4.2 Edulcorantes naturales no calóricos

Son llamados edulcorantes no calóricos o no nutritivos ya que provienen de productos naturales y que estos no aportan ningún poder caloríficos al ser consumido, éstos tienen diferentes aplicaciones en los productos de consumo diario de la población, se presenta un resumen de los diferentes usos (Tabla 5).

### 1.4.2.1 Alcoholes del azúcar

**Sorbitol:** se encuentra en muchas frutas, está atrayendo cada vez más interés industrial como edulcorante, humectante, texturizador y suavizante. Es principalmente producido por medios químicos. *Zymomonas mobilis*, la bacteria es capaz de producir sorbitol junto con el ácido glucónico a partir de fructosa y glucosa, respectivamente (Jonas y Silveira, 2004).

Se encuentra en forma natural en ciertas bayas y frutas (*Sorbus aucuparia*, algas rojas, cerezas, manzanas, etcétera). Es un edulcorante nutritivo porque cada gramo contiene 2.4 calorías, bastante menos que las 4 de la sacarosa o el almidón. El sorbitol se emplea en muchos productos alimenticios dietéticos y en la industria alimentaria como humectante, agente de carga y/o edulcorante en caramelos. Este edulcorante es el que contienen generalmente los chicles ‘sin azúcar’; aplicado da una sensación de fresco (Alonso, 2010).

**Manitol:** este edulcorante es un alcohol de azúcar que se genera por hidrogenación de maltosa obtenida de almidón; se encuentra en algas, hierbas, frutas y hongos. Es higroscópico, lo que significa que no absorbe la humedad de la atmósfera, por lo cual resulta muy adecuado como un recubrimiento duro para el caramelo, y le da ciertas cualidades deseables en revestimientos de sabor chocolate. Tiene efectos laxantes, y también algunas personas pueden ser alérgicas a la misma (Meléndez, 2008). No se utiliza como edulcorante por sí mismo, pero tiene usos importantes en la industria farmacéutica como un medicamento en su propio derecho, y como recubrimiento de pastillas y tabletas. Tiene aplicaciones muy beneficiosas en la medicina y también se utiliza en la industria alimentaria (CCC, 2013).

**Xilitol:** edulcorante que ha sido utilizado durante mucho tiempo como endulzante para diabéticos en diversos países de Europa y Asia. No es fermentado en ácidos por las bacterias presentes en la boca y, por tanto, a diferencia de la sacarosa, no es cariogénico. De ahí su extenso empleo en productos tales como cremas dentales y, mayoritariamente, en formulaciones de chicles. Se utiliza también como un sustituto de la sacarosa en los alimentos para diabéticos, debido a que no se requiere de insulina para su metabolismo. Su consumo en exceso puede generar efectos laxantes (Alonso, 2010).

**Isomalt:** este edulcorante es una mezcla de los isómeros resultantes de la hidrogenación de la isomaltulosa, que se obtiene por tratamiento enzimático de la

sacarosa (azúcar común). Se utiliza como agente de carga en productos, como los caramelos, en que ha sustituido al azúcar. Tiene la ventaja de ser poco higroscópico aunque su precio, relativamente elevado, restringe el uso (Solá, 2014).

**Maltitol:** se utiliza como sustitutivo ideal en diversas formulaciones debido a su alto poder edulcorante (0.9) y sus características físico-químicas, similares a la sacarosa, le permiten intercambiarse por ella sin afectar las preparaciones de las formulaciones tradicionales (CCC, 2013). Es un ingrediente utilizado en la industria de alimentos por su capacidad emulsionante, espesante, estabilizante y como edulcorante (Badui, 2013); entre las aplicaciones más comunes se encuentran: tablas de chocolate, productos lácteos congelados, galletas dulces, caramelos y turrón, piezas de chocolate no envueltas individualmente, productos de panificación y en productos de cuidado personal.

**Lactitol:** es un edulcorante de carga con un gusto similar al del azúcar. Su estabilidad, solubilidad y baja cantidad de calorías lo hacen apto para una variedad de alimentos bajos en calorías, bajos en grasas o sin azúcar. Es un polvo blanco cristalino inodoro de muy alta pureza y buena fluidez. El poder edulcorante del lactitol es apenas el 40 % del de la sacarosa (García, 2013). Se usa en los alimentos bajos en calorías y sin azúcar; hace que los productos absorban humedad, mantiene la frescura y prolonga el período de caducidad de las galletas y la goma de mascar, también puede utilizarse en ciertas aplicaciones farmacéuticas, en comida para diabéticos, como crioprotector en el surimi, o como prebiótico en los lácteos cultivados (Badui, 2013).

Tabla 5. Resumen de las aplicaciones de los edulcorantes no calóricos de origen natural: alcoholes de azúcar.

Edulcorantes no calóricos naturales		
Edulcorante	Clasificación	Usos
Sorbitol	Natural	• Como edulcorante industrial • Humectante • Texturizador y suavizante • Productos alimenticios dietéticos • En la industria alimentaria como humectante, agente de carga y/o edulcorante en caramelos • Uso en los chicles 'sin azúcar'; aplicado da una sensación de frescor.
Xilitol	Natural	• Endulzante de alimentos para diabéticos • Extenso en cremas dentales • Chicles.
Manitol	Natural	• Es adecuado como un recubrimiento duro para el caramelo • Uso deseable en revestimientos de sabor chocolate • Tiene usos importantes en la industria farmacéutica como un medicamento y recubrimiento de pastillas y tabletas • Industria alimentaria.
Maltitol	Natural	Tablas de chocolate • Productos lácteos congelados • Galletas dulces • Piezas de chocolate no envueltas individualmente • Productos de panificación • Caramelos y turrón.
Isomatol	Natural	• En alimentos y bebidas carbonatados • Panificadora y repostería • Elaboración de caramelos.
Lactitol	Natural	En alimentos horneados • Chocolate • Confitería • Goma de mascar • Helados • Industria farmacéutica • Galletas dulces y rellenos a base de frutas.

Fuente: elaboración propia.

#### 1.4.2.2 Edulcorantes naturales sin calorías

**Lou Han Guo:** su uso médico es en pacientes diabéticos ya que, de acuerdo con Alonso (2010), este fruto demostró favorecer la respuesta a la insulina, a la par que colabora en el descenso de los niveles de azúcar en la sangre. Además, también demostró ser un protector de los riñones y páncreas, ambos órganos alterados en dichos pacientes. Se comercializa de forma líquida o en polvo, a fin de satisfacer las necesidades de los usuarios y la industria alimentaria; se puede utilizar también, con cualquier alimento o bebida independientemente del proceso al que se sometan (Solá, 2014) (Tabla 6).

**Estevia:** este edulcorante se puede disolver en agua y resiste las temperaturas de horneado. Se comercializa en extracto concentrado o en infusión de las hojas. Muchos estudios de toxicidad llevados a cabo con extractos de *Stevia rebaudiana* indican que es seguro para el consumo humano. Además, en la actualidad, estevia es el endulzante más utilizado en los mercados coreano y japonés (Bethizy y Hayes, 1989). Su uso es permitido en muchos países, tales como EUA, Canadá, la

Unión Europea, México, Japón, Corea, Taiwán, China, Rusia, Australia, Argentina, Nueva Zelanda, Colombia, Perú, Paraguay, Uruguay, Brasil, Suiza, Malasia, Ghana, Turquía, Marruecos, Nigeria e Israel (IBSB, 2013).

Las industrias refresqueras gigantes como Coca-Cola, Pepsi y Beatrice Foods, utilizan los extractos de estevia para endulzar sus productos (Cuadro 6). Se utiliza también en gomas de mascar, caramelos, premezclas de tortas, bebidas de bajo contenido calórico, salsas, helados y cremas heladas, pikles, y otros productos de sabor delicado, loción tónica, productos medicinales y de higiene bucal (Osorio, 2007). De acuerdo a IBSB, (2013), se puede usar estevia en:

En productos de mesa:

- Para endulzar bebidas frías o calientes como: café, té, chocolate, jugos, piñas coladas, en repostería, mermeladas, jugos, confitería, gelatinas, granolas y galletas.
- En gomas de mascar, bebidas gaseosas e hidratantes.
- En productos farmacéuticos y de belleza como labiales, cremas dentales, jarabes, entre otros.
- En salsas y conservas de verduras y frutas.
- En derivados de los lácteos: yogur, kumis y helados.

En la medicina:

- Favorece la efectiva regulación de los niveles de azúcar en la sangre, pues el steviósido, es un potente agente antihiperlipidémico que estimula la secreción de insulina, el té y las cápsulas de estevia son vendidas como medicamentos en el tratamiento de la diabetes.
- En la medicina herbal es considerada como hipotensor diurético en casos de obesidad y para bajar los niveles de ácido úrico.
- Consumida como un té de hierbas beneficia la digestión y la función gastrointestinal y alivia las molestias estomacales.
- El consumo de estevia ayuda a reducir la ansiedad por el tabaco y el consumo del alcohol.
- Tiene actividad anticaries si al cepillarte añades unas gotitas del extracto a la pasta dentífrica.
- También se utiliza como agente antioxidante, desinfectante, antihistamínico, y para enfermedades de la piel.
- Aplicada como mascarilla facial, suaviza y tensiona la piel, alisa las arrugas y ayuda a curar las manchas de la piel incluyendo el acné.
- De igual forma, se utiliza como aditivo para cremas, lociones jabones y champús.
- Se comercializa con el nombre de SweetLeaf (Figura 8).

Figura 8. Una de las tantas presentaciones en las que se comercializa la estevia.



De acuerdo a Osorio (2007), los beneficios de usar estevia en forraje para animales son:

- Acelera el crecimiento mejorando el consumo y la conversión alimenticia incorporando en alimentos balanceados de pollos y cerdos.
- Incrementa el apetito de los animales, especialmente al ser utilizados en los vacunos al destete.
- Multiplica los microbios beneficiosos en los órganos digestivos.
- Promueve la digestibilidad y acelera el crecimiento,
- Acciona la segregación del glucagón.
- Reduce el período de reproducción y por ende el de comercialización mejorando la productividad.
- Elimina las bacterias que contaminan el alimento, tales como la salmonella y *E. coli*.
- Previene la infección del virus Aujeszky en los cerdos, y ayuda a la cura rápida de los enfermos.

**Taumatina:** tiene un amplio rango de aplicaciones en alimentos y bebidas en combinación con otros edulcorantes. En la industria, lo podemos encontrar en la elaboración de saborizantes, bebidas alcohólicas, yogures, postres, refrescos, dulces y mermeladas (Alonso, 2010). En Inglaterra está autorizada para endulzar medicinas, en Estados Unidos para el chicle y en Australia como agente aromatizante, productos farmacéuticos, pastas dentales y enjuagues bucales (Solá, 2014) (Ver tabla 6).

**Monelina:** este edulcorante no puede ser usado en bebidas por que pierde su capacidad edulcorante con el tiempo (Giannuzzi y Molina, 1995; Jonas y Silveira, 2004). Actualmente no tiene una aplicación comercial, pero debido a sus características, se investiga la síntesis de la proteína a nivel industrial pero que permita conservar sus propiedades a través del tiempo (Gálvez, 2013) (Tabla 6).

**Brazzeína:** Es una proteína de sabor dulce que se extrae del fruto de una enredadera del África Occidental (*Pentadiplandra brazzeana* Baillon). Se caracteriza por ser 1,000 veces superior en dulzor a la sacarosa. Comercialmente se le conoce con el nombre de Cweet® (Alonso, 2010).

Tabla 6. Resumen de las principales aplicaciones de los edulcorantes naturales sin calorías.

Edulcorantes no calóricos		
Edulcorante	Clasificación	Usos
Lou Han Guo	Natural	• Su uso médico es en pacientes diabéticos • En la industria alimentaria • Todo tipo de bebidas endulzadas
Estevia	Natural	• Endulzar gomas de mascar • Caramelos • Bebidas de bajo contenido calórico • Salsas • Helados y cremas heladas • Endulzar bebidas frías (refrescos) o calientes como: café, té, chocolate, jugos, coladas, en postera, mermeladas, jugos, confitería, gelatinas, granolas y galletas • En gomas de mascar • Productos farmacéuticos y de belleza como labiales, cremas dentales, jarabes • En salsas y conservas de verduras y frutas • En derivados de los lácteos: Yogur • Helados • En la medicina: es potente agente antihiperlipémico • Medicamentos en el tratamiento de la diabetes • Hipotensor diurético en casos de obesidad y para bajar los niveles de ácido úrico • Reduce la ansiedad por el tabaco y el consumo del alcohol • Se utiliza como agente antioxidante, desinfectante y para enfermedades de la piel • Alisa las arrugas y ayuda a curar las manchas de la piel incluyendo el acné • Se utiliza como aditivo para cremas, lociones jabones y champús • Uso como forraje en animales: alimentación de pollos y cerdos, acelera el crecimiento. Incrementa el apetito de los animales • Se utiliza en los vacunos, es un promotor de la digestibilidad y acelera el crecimiento, reduciendo el período de reproducción • En la ganadería la estevia elimina las bacterias que contaminan el alimento como salmonella.
Taumatina	Natural	• Aplicaciones en alimentos y bebidas en combinación con otros edulcorantes • Industria en la elaboración saborizantes • Bebidas alcohólicas • Yogures • Postres • Refrescos • Dulces y mermeladas
Monelina	Natural	• Puede ser usada en bebidas por que pierde su capacidad edulcorante con el tiempo
Brazzeína	Natural	• Aplicaciones en bebidas en combinación con otros edulcorantes • Bebidas gaseosas

Fuente: elaboración propia.

### 1.4.3 Edulcorantes artificiales calóricos

El Código Alimentario Español los define como aquellas sustancias rápidas sintéticas que, sin tener cualidades nutritivas, poseen un poder edulcorante superior al del azúcar de caña, remolacha y cualquier otro hidrato de carbono que tratan de sustituir. En el posterior desarrollo reglamentario de los aditivos alimentarios, se matiza que poseen un poder edulcorante superior al de cualquiera de los azúcares naturales a los que sustituyen o refuerzan (Cubero *et al.*, 2002) (Tabla 7).

#### 1.4.3.1 Azúcares modificados

**Jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF):** este jarabe proviene del maíz altamente procesado y lo contienen una gran mayoría de productos, tanto dulces como salados. Existen dos tipos de JMAF, de acuerdo al contenido de fructosa: el JMAF-42 y el JMAF-55. El JMAF-42 contiene un 42 % de fructosa, 53 % de glucosa y un 5 % de otros azúcares como maltosa y dextrosa. El JMAF-55 contiene 55 % de fructosa, 41 % de glucosa y 4 % de otros azúcares. Ambos pueden contener hasta un 20 % de agua (Kasangian, 2010). Es un jarabe muy dulce.

Posee además propiedades nutritivas, se fabrica mediante la isomerización de la dextrosa en el almidón de maíz. Ha reemplazado al azúcar en muchos alimentos y bebidas (gaseosas, bebidas de fruta, bebidas deportivas, productos horneados, caramelos, mermeladas, yogures, condimentos, alimentos enlatados y envasados). También sinergiza el poder edulcorante de la sacarosa y de otros edulcorantes no nutritivos, de ahí que se use industrialmente (Alonso, 2010) (Tabla 7).

**Azúcares invertidos:** son obtenidos de la hidrólisis de la sacarosa o azúcar de caña, lo que da por resultado una mezcla equimolecular de dextrosa y fructosa más la sacarosa residual. Dependiendo del grado de hidrólisis, pueden ser obtenidos azúcares invertidos de media, normal y alta inversión. Adicionalmente, la mezcla con otro tipo de edulcorantes amplía su gama y funcionalidad (García, 2013) (Tabla 7).

Tabla 7. Resumen de las principales aplicaciones de los edulcorantes artificiales calóricos provenientes de productos naturales, que sufren proceso químico.

Edulcorantes artificiales calóricos		
Edulcorante	Clasificación	Uso
Jarabe de maíz de alta fructosa	Artificial	Bebidas carbonatadas, bebidas lácteas, yogures, panadería, cajetas, embutidos, repostería, jugos y néctares. Alimentos infantiles, helados, vinos y licores.
Azúcares invertidos	Artificial	Es utilizado en confitería, panificación, galletería, productos fermentados, alimentos funcionales, lácteos y cereales.

Fuente: elaboración propia.

### 1.4.4 Edulcorantes artificiales no calóricos

Los edulcorantes artificiales no calóricos son sustancias sintéticas; dentro de sus propiedades no se considera ningún aporte calorífico. Son obtenidos de materiales no naturales; tienen diferentes usos y aplicaciones a los productos de consumo diario de la población en general, y representan los principales sustitutos del azúcar (Tabla 8).

#### 1.4.4.1 Edulcorantes artificiales

**Aspartame:** este viene del ácido aspártico y fenilamina. Con un calentamiento prolongado el aspartame se desintegra y pierde poder endulzante (Garcidueñas, 2015). En la industria de alimentos y bebidas lo podemos encontrar con el nombre comercial de NutraSweet y como Equal® (IBSB, 2013). En las personas sensibles al aspartame se ha reportado dolores de cabeza, se dice entonces que los alimentos que contengan este edulcorante deberán tener la leyenda “no apto fenilcetonúricos” o “contiene fenilalanina”, por lo que las personas que padezcan esta enfermedad no podrán consumirlos. Se descompone con mucha facilidad por lo que no está indicado en aplicaciones sometidas a variaciones de temperatura. Por ejemplo, en una bebida refrescante guardada a 25 °C, pierde el 30 % de su poder edulcorante a los 80 días (Solá, 2014).

El aspartame se utiliza para endulzar una variedad de alimentos, bebidas y también como edulcorantes de mesa. Es usado en prestigiosas marcas de los siguiente alimentos y bebidas: refrescos carbonatados, jugos, cereales para desayuno, postres, edulcorantes de mesa (polvos y tabletas), gomas de mascar, conservas de fruta, aderezos unttables al pan, postres congelados, productos lácteos, bebidas calientes chocolatadas, multivitaminas, pastillas de menta y productos farmacéuticos (Joyanes, 2014). Se encuentra disponible en forma líquida, granular, encapsulada y en polvo. Actual-

mente, la producción mundial de aspartame se encuentra, en gran parte, controlada por la empresa norteamericana Monsanto Company (Osorio, 2007). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (2000), la ingesta diaria aceptable (IDA) del aspartame es de 40 mg por kilogramo de peso corporal (Tabla 8).

**Sucralosa:** este es un edulcorante altamente soluble en agua; es estable en una gran cantidad de alimentos y bebidas, capaz de soportar altas temperaturas, permitiendo que los productos que contienen la sustancia puedan ser comercializados para cocinar y hornear. También es adecuado para el uso en una gran variedad de otros productos alimenticios tales como bebidas carbonatadas, productos elaborados de frutas, frutas para untar, productos lácteos y postres congelados; se hidroliza muy lentamente a monosacárido, no interactúa con los componentes del alimento y no produce sabor amargo, dejando un perfil de intensidad similar a la sacarosa (Andrew, 2012).

Algunos de los beneficios del uso de la sucralosa es que no produce efectos adversos dentales que, a diferencia del azúcar regular, no fomenta el crecimiento de bacterias en la boca, y las ventajas dentales de la sucralosa hacen que sea un agente edulcorante popular como goma de mascar. Es un edulcorante sumamente versátil. El hecho de que se mantenga dulce al someterla a calor elevado o intenso y durante el almacenamiento a largo plazo, junto con su magnífico sabor azucarado, permite que se utilice en la mayoría de alimentos y bebidas, incluyendo postres lácteos, productos horneados, helado y snacks bajos en carbohidratos. Además, se puede utilizar en alimentos donde no se pueden usar otros edulcorantes (CCC, 2013). Es el edulcorante utilizado en los productos de mesa marca SLENDA® (tabletas, sobrecitos y granular) (Alison, 2009).

**Sacarina:** es un edulcorante sin calorías de 300 a 500 veces más dulce que el azúcar (sacarosa). Se utilizó comercialmente para endulzar alimentos y bebidas desde el comienzo del siglo XX. Su uso se incrementó en gran medida durante la guerra por la escasez del azúcar. La sacarina aparece mezclada con ciclamato, potenciando así su dulzor y se ha utilizado como edulcorante sin calorías en alimentos y bebidas durante más de cien años, la forma más utilizada es la sal sódica, ya que la forma ácida es muy poco soluble en agua, pero puede tener un sabor amargo o saborcillo metálico en algunos líquidos (Garcidueñas, 2015). También se le puede encontrar como sacarina sódica.

De acuerdo al Instituto de Bebidas para la Salud y el Bienestar [IBSB] (2013), se utiliza de las formas siguientes:

- En la alimentación, se utiliza como un edulcorante no nutritivo y estabilizador en una gran variedad de alimentos y bebidas. En las panaderías utilizan sacarina sódica para endulzar alimentos horneados, panes y galletas. Los productos que contienen sacarina sódica incluyen el mazapán, el yogur natural azucarado y con sabor a fruta, mermeladas, jaleas y helados.
- En la industria se utiliza en las bebidas endulzadas artificialmente y en los refrescos de dieta sin azúcar, chicles, jaleas de frutas y dulces. Se

utiliza sacarina sódica porque se disuelve fácilmente en agua.

- El uso cosmético es en pasta de dientes, enjuague bucal y labiales para hacerlos más aceptables para los consumidores.
- En la química y agroindustria se utiliza como un ingrediente químico intermedio en la producción de pesticidas y herbicidas. Es un agente catalítico en la fabricación de adhesivos anaeróbicos (se endurece sin la presencia de oxígeno).
- En la industria farmacéutica se utiliza como un recubrimiento sobre los medicamentos, en pastillas multivitamínicas masticables y tabletas de calcio; principalmente en los medicamentos diseñados para niños. La sacarina es 300 veces más dulce que el azúcar, y en una píldora es necesaria una menor cantidad de sacarina que de azúcar, esto controla el tamaño de los medicamentos masticables. También se utiliza en la preparación de medicamentos líquidos para reducir la cantidad de azúcar necesaria.
- Como edulcorante de mesa bajo las marcas Sweetn' Low®, Sugar Twin® y Necta Sweet® (IBSB, 2013).

Según la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2000), la IDA de la sacarina fue aumentada a 5,0 mg por kilogramos de peso corporal (Ver Tabla 8).

**Acesulfamo k:** generalmente se emplea en combinación con otros edulcorantes nutritivos y no nutritivos para disminuir el sabor amargo, tolera temperatura elevadas (resiste el cocinado u horneado) y es soluble en agua. Su vida útil es de cuatro años, cuando se almacena en condiciones frescas y secas (Joyanes, 2014). En aproximadamente 90 países se pueden encontrar productos que contienen acesulfame K. Se emplea en una gran cantidad de alimentos y bebidas, entre ellos los edulcorantes de mesa (que se comercializan con las marcas Sunette®, Sweet One®, Swiss Sweet®), bebidas carbonatadas y no carbonatadas, productos lácteos, vegetales en conserva, mermeladas, postres, budines, productos horneados, golosinas y alimentos enlatados. También se usa en productos farmacéuticos y de higiene oral como pastas y enjuagues bucales (IBSB, 2013). Posee mejores características saborizantes que otros edulcorantes sintéticos, con los cuales se mezcla en la búsqueda de un sabor más natural. Según la Organización Mundial de la Salud (2000), la IDA del acesulfamo-k es de 15 mg por kilogramos de peso corporal (Tabla 9).

**Ciclamato:** en combinación se ha aplicado en refrescos de dieta, tabletas, postres fríos bajos en calorías, aderezos, mermeladas, jaleas, gelatinas, gomas de mascar y en polvos para preparar bebidas (López, 2013). Es químicamente muy estable, no afecta los cambios de pH ni las temperaturas elevadas, por esta razón está recomendado en aplicaciones que impliquen temperatura, desde las más suaves (yogur, pasteurizado) hasta las más drásticas como los horneados. Se conocen algunos usos

más comunes como edulcorante de mesa, en bebidas instantáneas, en confituras, mermeladas, postres, gelatinas, frutas en conserva, batidos, productos lácteos o productos farmacéuticos entre otros, pero su utilización fundamental está en las bebidas carbonáticas (Edulcorantes artificiales usos y diferencias, 2012). El ciclamato como tal es menos soluble en agua que sus sales, que son las que se utilizan habitualmente (Sclafani, 1997).

Según la Organización Mundial de la Salud (2000), la IDA del ciclamato ha sido fijada en 11 mg por kg de peso corporal y en 7 mg, determinado por el Comité Científico de Alimentos (SCF por sus siglas en inglés) de la comisión europea (Tabla 8).

**Alitamo:** de acuerdo a Osorio (2007), el alitamo tiene potencial de ser usado en casi todas las áreas en las que se utilizan edulcorantes en la actualidad, por ejemplo: productos horneados y mezclas para hornear, polvos para preparar bebidas, postres congelados y polvos para prepararlos, goma de mascar y caramelos, bebidas calientes y frías, preparaciones con frutas, edulcorantes de mesa, pasta dental y enjuague bucal, productos farmacéuticos y en productos lácteos.

**Advantamo:** edulcorante bajo en calorías, combinación del aspartame y de la vainillina, 37.000 veces más dulce que el azúcar. Se puede emplear como alternativa a los azúcares calóricos como la sacarosa, o como alternativa a otros edulcorantes intensivos, como el aspartame (de origen químico) o la estevia (de origen vegetal). Se utiliza ahora en los productos de alimentación y de mesa indicados en el Reglamento (helados, preparados de fruta, confituras, productos de cacao y chocolate, goma de mascar, etc.) y en las dosis máximas indicadas (Badui, 2006).

Tabla 8. Principales aplicaciones de los edulcorantes no calóricos que son sustancias sintéticas que se obtienen de materiales no naturales.

Edulcorantes artificiales no calóricos		
Edulcorante	Clasificación	Uso
Aspartame	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industria de alimentos y bebidas.</li> <li>Refrescos carbonatados</li> <li>Jugos</li> <li>Cereales para desayuno</li> <li>Postres</li> <li>Edulcorantes de mesa (polvos y tabletas)</li> <li>Gomas de mascar</li> <li>Conservas de fruta</li> <li>Aderezos untables al pan</li> <li>Postres congelados</li> <li>Productos lácteos</li> <li>Bebidas calientes chocolatadas</li> <li>Multivitaminas</li> <li>Pastillas de menta</li> <li>Productos farmacéuticos.</li> </ul>
Sucralosa	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>En alimentos y bebida</li> <li>Productos horneados</li> <li>Productos para cocinar</li> <li>Bebidas carbonatadas</li> <li>Productos elaborados de frutas</li> <li>Frutas para untar</li> <li>Productos lácteos y postres congelados.</li> </ul>
Sacarina	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para endulzar alimentos</li> <li>La forma más utilizada es la sal sódica</li> <li>Estabilizador de alimentos y bebidas</li> <li>En panaderías para horneados, panes, galletas y magdalenas</li> <li>Mazapán</li> <li>Yogur natural azucarado</li> <li>Jaleas</li> <li>Helados</li> <li>Refrescos de dieta sin azúcar</li> <li>Chicles</li> <li>Dulces</li> <li>Pasta de dientes</li> <li>Enjuague bucal</li> <li>Labial</li> <li>Ingrediente químico para producción de pesticidas y herbicidas</li> <li>Utilizan como agente catalítico en la fabricación de adhesivos anaeróbicos</li> <li>Recubrimiento para pastillas multivitaminas masticables y tabletas de calcio</li> <li>Medicamentos masticables para niños</li> <li>Edulcorante de mesa.</li> </ul>
Neotamo	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chicles</li> <li>Bebidas dulces</li> <li>Bebidas carbonatadas</li> <li>Horneados</li> <li>Postres</li> <li>Lácteos</li> <li>Zumos de frutas</li> <li>En productos etiquetados como "sin azúcar", "0 % de azúcar", "light" y "bajo en calorías"</li> <li>Leches saborizadas</li> <li>Yogur para beber y batido</li> <li>Mermeladas y preparados de fruta</li> <li>Helados, sorbetes y productos lácteos congelados</li> <li>Repostería.</li> </ul>
Acesulfame k	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Edulcorantes de mesa</li> <li>Postres</li> <li>Budines</li> <li>Productos horneados</li> <li>Bebidas carbonatadas</li> <li>Golosinas</li> <li>Alimentos enlatados</li> <li>Productos farmacéuticos y de higiene oral</li> <li>Productos "light".</li> </ul>
Ciclamato	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bebidas carbónicas</li> <li>Yogur</li> <li>Horneados</li> <li>Refrescos de dieta</li> <li>Postres fríos bajos en calorías</li> <li>Aderezos y mermeladas</li> <li>Jaleas</li> <li>Gelatinas</li> <li>Gomas de mascar</li> <li>Polvos para preparar bebidas</li> <li>Edulcorante de mesa</li> <li>Bebidas instantáneas</li> <li>Confituras</li> <li>Frutas en conserva</li> <li>Batidos</li> <li>Productos lácteos</li> <li>Productos farmacéuticos.</li> </ul>
Alitamo	Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productos horneados</li> <li>Aditivo en polvos para preparar todo tipo de bebidas</li> <li>Postres congelados</li> <li>Goma de mascar</li> <li>Caramelos</li> <li>Bebidas calientes y frías</li> <li>Edulcorantes de mesa</li> <li>Pasta dental</li> <li>Enjuague bucal.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 9 se presenta la clasificación de los edulcorantes artificiales más comunes y el rango de IDA, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación publicado el 16 de julio de 2012. A manera de resaltar la ingesta de edulcorantes diferentes a la sacarosa que cotidianamente se consume, se muestran en la Tabla 10, las principales marcas comerciales que emplean en su preparación edulcorantes diferentes a la sacarosa y que la mayoría de la población consume con la idea de que es sacarosa.

Tabla 9. Clasificación de edulcorantes artificiales y el rango de ingesta diaria aceptable (IDA). (BPF: Buenas Prácticas de Fabricación)

Edulcorantes artificiales y su rango de ingesta diaria aceptable (IDA)				
Edulcorante	Bebidas	Alimentos	Confitería	Chocolates
Acesulfame potásico	BPF	2000 mg/kg	BPF	500 mg/kg
Alitame	40 a 300 mg/kg	40 a 300 mg/kg	100 a 300 mg/kg	300 mg/kg
Aspartame	BPF	1000 a 3000 mg/kg	1000 a 10000 mg/kg	300 mg/kg
Aspartame-Acesulfame	BPF	1000 mg/kg	BPF	BPF
Ciclamatos	250 mg/kg	100 a 3000mg/kg	500 mg/kg	500 mg/kg
Glucosidos de esteviol	200 mg/kg	40 a 2500mg/kg	165 a 3500 mg/kg	BPF
Neotame	20 a 100 mg/kg	10 a 100 mg/kg	330 a 1000mg/kg	33 a 100 mg/kg
Neohesperidina	30 a 50 mg/kg	20 a 50 mg/kg	50 a 400 mg/kg	50 mg/kg
Sacarina	80 a 200mg/kg	20 a 1500	500 a 2500	100 a 500
Sucralosa	300 a 2400 mg/kg	250 a 1500 mg/kg	1800 a 5000 mg/kg	400 a 800mg/kg
Eritritol	BPF	BPF	BPF	BPF
Isomaltol	BPF	BPF	BPF	BPF
Jarabe de Poliglicitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Lactitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Maltitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Manitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Sorbitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Taumatina	BPF	BPF	BPF	BPF
Xilitol	BPF	BPF	BPF	BPF

Fuente: Diario Oficial de la Federación el 16 de Julio de 2012.

Tabla 10. Principales productos clasificados de acuerdo con el edulcorante que contienen y su aporte calórico, según la *Revista del Consumidor* publicada en 2012.

Marca y presentación	Presentación	Aporte calórico (kcal)	Densidad calórica	Edulcorantes presentes
Coca Cola. Refresco de cola	200 ml	84	0.44	Fructuosa, glucosa y sacarosa
Coca Cola ZERO. Refresco de cola sin calorías	200 ml	0.5	0.003	Aspartame y acesulfame K
Coca Cola light. Refresco de cola sin calorías	200 ml	0.5	0.0025	Aspartame y acesulfame K
Coca Cola light sin Cafeína. Refresco de cola sin calorías	200 ml	0.5	0.002	Aspartame y acesulfame K
Pepsi. Refresco sabor cola	200 ml	92	0.46	Fructuosa, glucosa y sacarosa
Pepsi Max. Refresco sabor cola, sin azúcar y sin calorías	200 ml	0	0	Aspartame y acesulfame K
Pepsi light. Refresco de cola, sin azúcar y sin calorías	200 ml	0	0	Aspartame y acesulfame K
Pepsi kick. Refresco sabor cola sin azúcar, sin calorías con cafeína y ginseng	200 ml	0	0	Aspartame y acesulfame K
Sprite. Refresco sabor lima limón	200 ml	80	0.44	Fructuosa y glucosa
Sprite Zero. Refresco sin calorías sabor lima limón	200 ml	0.5	0.01	Aspartame y acesulfame K
Squirt. Refresco sabor toronja	200 ml	100.8	0.504	Fructuosa y glucosa

Tabla 10. Principales productos clasificados de acuerdo con el edulcorante que contienen y su aporte calórico, según la *Revista del Consumidor* publicada en 2012 (continuación).

Marca y presentación	Presentación	Aporte calórico (kcal)	Densidad calórica	Edulcorantes presentes
Squirt light. Refresco sin calorías sabor toronja	200 ml	3.2	0.016	Sucralosa y acesulfame K
JUMEX. Néctar de durazno	200 ml	96	0.48	Fructuosa y glucosa
JUMEX light. Néctar de durazno bajo en calorías	200 ml	30	0.15	Fructuosa, glucosa y sucralosa
Dickinson's. Mermelada de fresa	20 g	50	2.5	Azúcar, azúcares provenientes de jarabe de maíz y jarabe de maíz alto en fructuosa
Dickinson's. Mermelada de fresa sin azúcar	20 g	12.5	0.625	Sucralosa
McCORMICK. Mermelada de fresa sin saborizantes artificiales	20 g	50	2.5	Azúcar
McCORMICK. Mermelada de fresa sin azúcar añadida	22.22 g	20	0.625	Azúcares provenientes del jugo de uva (fructuosa y glucosa) y sucralosa
McCORMICK. Mermelada de fresa 50 % reducida en azúcar	20.41 g	24.5	2.5	Azúcar
SMUCKER'S. Mermelada de fresa	20.95 g	49.9	0.9	Azúcar y glucosa
SMUCKER'S. Mermelada de fresa sin azúcar	10.56 g	13.2	1.2	Sucralosa
SMUCKER'S. Mermelada de fresa sin azúcar	16 g	25.9	2.38	Azúcar

Tabla 10. Principales productos clasificados de acuerdo con el edulcorante que contienen y su aporte calórico, según la *Revista del Consumidor* publicada en 2012 (continuación).

Marca y presentación	Presentación	Aporte calórico (kcal)	Densidad calórica	Edulcorantes presentes
ProMesa. Jarabe sabor maple	15 ml	56	1.25	Azúcares del jarabe de maíz y azúcar
ProMesa light. Jarabe sabor maple 50 % menos calorías	15 ml	26	1.73	Azúcares del jarabe de maíz y azúcar
ProMesa. Jarabe sabor maple Sugar Free 0 calorías	15 ml	0	0	Sucralosa
Tasty Diabetics. Jarabe sabor maple Bajo en calorías. Sin azúcar	40 g	10	0.25	Sucralosa
HERSHEY'S. Jarabe sabor chocolate	39 g	94.4	2.42	Azúcares del jarabe de maíz de alta fructuosa y azúcar
HERSHEY'S Light. Jarabe sabor chocolate sin grasa y reducido en calorías	38 g	51.8	1.36	Azúcar, fructuosa y acesulfame K
Tasty Diabetics Light. Jarabe sabor chocolate reducido en calorías, sin azúcar	32 g	27	0.84	Maltitol y sucralosa
Golden Hills. Duraznos en conserva	100 g	87.3	0.87	Azúcar
Golden Hills Light. Duraznos en conserva reducidos en azúcar	100 g	26	0.26	Sucralosa

Fuente: elaboración propia.

### 1.5 Riesgos a la salud por el consumo de edulcorantes

El ser humano, como todo ser vivo, necesita materiales con los que construir o reparar su propio organismo, energía para hacerlo funcionar y reguladores que controlen este proceso. Para conseguirlo debe proporcionar a su cuerpo las sustancias

requeridas, lo que se hace posible mediante la alimentación (Palencia, 2002). Por ello, con una correcta alimentación, el ser humano puede influir de manera determinante sobre su salud, su capacidad de rendimiento y su esperanza de vida. Este procedimiento incluye varias etapas: selección, preparación e ingestión de los alimentos y se describe como un proceso voluntario.

La nutrición en cambio, es el conjunto de procesos involuntarios mediante los cuales el cuerpo humano incorpora, transforma y utiliza los nutrientes suministrados con los alimentos, para realizar sus funciones vitales. La nutrición incluye: digestión de los alimentos, absorción y metabolismo de los nutrientes asimilados, y excreción de los desechos no absorbidos y de los resultantes del metabolismo celular. Debido a que es involuntario, la nutrición dependerá de la calidad de la alimentación, por lo que es importante que la alimentación sea sana (Palencia, 2002).

Los azúcares (hidratos de carbono), además de su papel estructural y regulador, son la forma principal de energía, y además, la más barata y abundante, al mismo tiempo que la más obtenible de forma más fácil y rápida por nuestro metabolismo. Sin embargo, la percepción muy generalizada de que los carbohidratos “engordan”, son perjudiciales o no esenciales (Grande *et al.*, 1995), supone de hecho que, en general, su aporte al contenido energético de la dieta (“perfil calórico”) disminuya conforme el poder adquisitivo aumenta, y viceversa (Partearroyo *et al.*, 2013).

México ocupa el sexto lugar en el mundo en la producción de azúcar y es el séptimo en su consumo; cada mexicano consumía, en promedio, hasta el 2010, 47.9 kg de azúcar al año (Vergara y Díaz, 2010). Sin embargo, cada día el consumo de edulcorantes se hace más masivo en nuestra sociedad, dado que están presentes en una gran variedad de alimentos. Los edulcorantes mantienen la palatabilidad de la dieta permitiendo reemplazar el azúcar de muchos alimentos y así reducir el aporte calórico de los mismos (Duran *et al.*, 2013).

Lo anterior ha sido producto del modo y ritmo de vida actual, como resultado de la evolución de la economía, donde la mayor parte de los nuevos empleos se generan en el sector de servicios, la necesidad del consumo del azúcar como producto energético es mucho menor que antes cuando predominaba el trabajo manual y físico. El desequilibrio en el consumo de azúcares, combinado con dietas intensivas en grasas, ha generado altos índices de obesidad y riesgos de enfermedades crónicas, tipo diabetes y cardiovasculares, razón por la cual hay segmentos de los consumidores que están optando por edulcorantes menos calóricos, sustituyendo a la sacarosa.

Lo que inclina a la industria a utilizarla es su bajo costo y también sus ventajas, pues es más dulce, más estable y más limpia. Al mismo tiempo, hay una discusión entre los expertos si al final implica menos calorías para el consumidor (Mertens, 2008), y a pesar de que su ingesta es segura, es necesario determinar la cantidad de edulcorantes en los alimentos y monitorear el consumo por la población para conocer si están o no sobrepasando los valores de IDA (Durán *et al.*, 2013) (Figura 9).

Figura 9. Productos que señalan el contenido de azúcar sin especificar el tipo al que corresponde.



Fuente: <http://medicinapositiva.com/el-azucar-es-mala-para-la-salud/>

Los edulcorantes bajos en calorías, tanto naturales como artificiales, son en estos momentos una de las áreas más dinámicas dentro de los aditivos alimentarios, debido a la gran expansión que ha experimentado el mercado de los alimentos bajos en calorías. Se han hecho estudios para conocer por qué el consumidor prefiere los productos que contienen edulcorantes no nutritivos frente a otros. La Tabla 11 muestra uno de estos estudios realizados por el CCC y la empresa Pfizer (Solá, 2014).

Tabla 11. Razones para elegir edulcorantes bajos en calorías (en % de consumidores de estos productos).

Razones	Reino Unido	Francia	Alemania	EE UU
Cuidar salud	73	55	77	67
Mantener línea	61	62	67	60
Prevenir caries	48	40	47	38
Adelgazar	45	36	31	48
Sabor	39	30	30	43
Prescripción médica	32	41	51	3

Fuente: Solá (2014).

Las principales razones que influyen en el consumo de los edulcorantes no calóricos, corresponden a razones estéticas o que el consumidor considera que son para cuidar la salud. Sin embargo, ¿Cuál es la función del azúcar en el organismo?

### 1.5.1 Función del azúcar en el organismo

La principal función del azúcar es proporcionar la energía que el organismo necesita para el funcionamiento de los diferentes órganos, como el cerebro y los músculos, funcionalidad esencial a lo largo de la vida y situaciones fisiológicas. Sólo el cerebro es responsable del 20 % del consumo de energía procedente de la glucosa, aunque también es necesaria como fuente de energía para todos los tejidos del organismo. Si los niveles de glucosa descienden, el organismo empieza a sufrir ciertos trastornos: debilidad, temblores, torpeza mental e incluso desmayos (hipoglucemia). Durante la infancia o adolescencia, etapa de expansión cognitiva, uno de los errores más habituales en materia de alimentación consiste en evitar el desayuno o hacerlo de manera insuficiente, cuando en realidad, se trata de la comida más importante del día. El desayuno debe aportar la energía necesaria para que cada persona inicie su actividad diaria, ya que en ese momento el nivel de azúcar es el más bajo.

La evidencia científica señala que en el desayuno se debe tomar la cuarta parte de la energía y nutrientes del día (Partearroyo *et al.*, 2013). Por eso, se debe incluir el consumo de azúcar en cantidad moderada, junto a los alimentos que se consuman, no sólo por su aporte energético sino también porque endulza y aporta a los alimentos cualidades de saborización que van a facilitar la ingesta de los mismos.

Sin embargo, no solo en la infancia y adolescencia el azúcar juega un papel importante, pues también lo es para el grupo de población de adultos mayores, en gestación, lactancia o si realizan alguna práctica deportiva; mismos que requieren un mayor aporte energético (Partearroyo *et al.*, 2013).

El consumo de azúcar es particularmente importante, porque permite incrementar y reponer los depósitos de glucógeno, tanto en el músculo como en el hígado. Tanto si la actividad laboral es física como intelectual, el consumo de azúcar sigue siendo aconsejable en la edad adulta. Es un alimento que proporciona energía de rápida asimilación al organismo, permitiendo una recuperación rápida para las personas que desarrollan un gran desgaste físico durante su jornada laboral, aunque la realidad actual es que los trabajos, y nuestros estilos de vida en general, son cada vez más sedentarios, situación que conlleva la necesidad de adecuar la ingesta energética total al gasto energético (Durán *et al.*, 2013; Partearroyo *et al.*, 2013).

Entre las mujeres adultas es habitual seguir algún tipo de régimen hipocalórico. En este caso, es muy importante conocer el beneficio que el consumo de azúcar implica para el buen desarrollo de la dieta. Su alto índice de palatabilidad contribuye al éxito de cualquier régimen de adelgazamiento, al favorecer el consumo de alimentos claves en cualquier dieta

equilibrada, o en dietas proporcionadas a adultos mayores, donde la capacidad sensitiva se reduce y el papel que juega el azúcar se vuelve más importante, ayudando a la ingestión de otros alimentos como yogures, leche, frutas y, lógicamente, los nutrientes y componentes bioactivos que contengan (Durán *et al.*, 2013; Partearroyo *et al.*, 2013).

### 1.5.2 Beneficios del azúcar al organismo

Los hidratos de carbono se pueden almacenar y utilizar cuando el organismo necesite energía, haciéndolo bien en forma de glucógeno hepático o muscular, o transformarse en grasa. Por otro lado y no menos importante, constituyen la principal fuente energética del sistema nervioso y de las células sanguíneas, lo que sin duda es un aspecto esencial en todas las etapas de la vida y situaciones fisiológicas, pero de manera muy especial en el embarazo, recién nacido, deportista o en las personas mayores.

Se considera, desde el punto de vista cognitivo, que la glucosa puede mejorar el almacenamiento y recuperar la información, fundamentalmente a corto plazo. También en edades avanzadas, con pérdida generalizada de memoria, unos niveles adecuados de glucosa ayudan al mantenimiento de la misma y, desde luego, un adecuado rendimiento en las tareas de aprendizaje como puede ser el caso de la infancia y adolescencia, puede estimularse por niveles adecuados de aporte de glucosa.

En la actualidad, no están bien definidas las necesidades diarias precisas de hidratos de carbono en la alimentación humana; sin embargo, las recomendaciones en países occidentales indican que deben aportar entre 55 y 60 % del total de la energía de la dieta.

En el caso de las personas mayores, el consumo moderado de azúcares sencillos, puede incluso ayudar a estimular el apetito y ser una herramienta válida, siempre que se consuman con moderación, para vehiculizar diferentes nutrientes de gran interés en este grupo de edad (ej. calcio o vitamina D en los productos lácteos que se consuman azucarados). Pese a lo anterior, resulta demasiado simplificador desde la evidencia científica, considerar de manera aislada los efectos positivos o negativos de un nutriente, y de manera homogénea para todos los grupos de edad y situaciones fisiológicas (Partearroyo *et al.*, 2013).

### 1.5.3 Problemas ocasionados por el alto consumo de azúcar

Uno de los efectos más mencionados del consumo excesivo de sacarosa, es un menor consumo de otros nutrientes, sobre todo micronutrientes, ocasionando desequilibrios nutricionales que podrían comprometer la salud. Esto ocurre porque el azúcar proporciona mayoritariamente energía y por ello, algunos autores han sugerido que su elevado consumo podría desplazar a los diferentes nutrientes de la dieta, originando una dieta desequilibrada nutricionalmente. Sin embargo, esta percepción no

se comprueba en los escasos estudios de investigación que con metodología adecuada se han realizado, y han puesto de manifiesto que el consumo tanto de energía como de los diferentes nutrientes se mantienen por encima de las recomendaciones cuando se valoran diferentes incrementos en la ingesta de azúcar durante la infancia y la adolescencia, por lo que, admiten que es difícil determinar la dosis de azúcar a partir de la cual se podría comprometer la salud de los menores y que sólo podría, en el caso de existir el mencionado efecto, justificarse la afirmación para los rangos más elevados de consumo (Partearroyo *et al.*, 2013).

Durante el embarazo, entre los nutrientes que la madre tiene que aportar continuamente al feto a través de la placenta, la glucosa es cuantitativamente la más importante, seguida de los aminoácidos, y tanto es así, que el metabolismo y desarrollo del feto dependen directamente de estos nutrientes que le llegan de la madre. La dieta materna y particularmente el tipo y el contenido de carbohidratos influye tanto en la madre como en el feto, ya que se ha postulado que alimentos que contienen azúcares sencillos, como la sacarosa pueden predisponer a una excesiva ganancia de peso materno y sobrecrecimiento feto-placentario (macrosomía), consecuencia en la mayor parte de las ocasiones de una diabetes materna o gestacional. Por el contrario, dietas con bajo índice glucémico no reducen la incidencia de macrosomías, pero sí que tienen un efecto significativamente positivo en el aumento de peso materno y la intolerancia a la glucosa en las madres. Por tanto, no se recomienda una ingesta excesiva de alimentos con elevado contenido en azúcares sencillos durante el embarazo, a excepción de alimentos que contengan mayoritariamente a la fructosa (frutas frescas con adecuado grado de maduración) (Partearroyo *et al.*, 2013).

En esta misma etapa, puede originarse diabetes mellitus gestacional que constituye una intolerancia a los hidratos de carbono de severidad variable, independientemente del tipo de tratamiento utilizado para conseguir el control metabólico (dieta o insulina), y de que persista o no una vez finalizada la gestación. Por tanto, la diabetes gestacional constituye una verdadera situación de “prediabetes”, constituida en la mayor parte de los casos por una fase precoz del desarrollo de la diabetes tipo 1 y 2. La alimentación de la diabética embarazada no debe ser ni hipocalórica ni restrictiva en hidratos de carbono (Partearroyo *et al.*, 2013).

La prevalencia de sobrepeso y obesidad se ha incrementado en los últimos años en la mayoría de los denominados países industrializados y de transición. Se calcula que unos 200 millones de niños en edad escolar padecen sobrepeso y unos 50 millones obesidad según la IOTF (International Obesity Task Force), debido a la ingesta excesiva de energía obtenida a base de productos con elevado contenido energético y baja densidad nutricional, pero fundamentalmente a la incapacidad actual para compensar mediante un gasto energético adecuado.

Hay una creciente evidencia de que el consumo excesivo de bebidas azucaradas (que contienen sacarosa o una mezcla de glucosa y fructosa), junto con estilos

de vida poco activos y mayor consumo de grasa total, se asocia con un consumo elevado de energía, aumento de peso corporal, y la aparición de trastornos metabólicos y cardiovasculares. Sin embargo, a pesar de que no haya evidencia clara todavía para implicar directamente a los azúcares con la obesidad, hay que tener en cuenta que un exceso de energía, ya bien provenga de hidratos de carbono simples o de cualquier otro macronutriente energético y asociado siempre a un estilo de vida sedentario, favorecería dicha patología si no se contrarresta con un adecuado gasto energético (Partearroyo *et al.*, 2013). La incorporación de la persona adulta al mundo laboral, el estrés provocado por el estilo de vida poco saludable, una disminución del ejercicio físico, posibles situaciones que desembocan en estados de ansiedad o unos malos hábitos dietéticos, son algunos de los factores más importantes que pueden llevar a un aumento de peso a través del abuso de alimentos procesados con elevado porcentaje calórico, en grasas saturadas o azúcares simples.

Tampoco existen estudios que relacionen directamente el consumo de azúcar y la diabetes, aunque sí se ha observado una fuerte asociación entre el consumo excesivo y prolongado de bebidas azucaradas y el mayor riesgo de desarrollo del síndrome metabólico y de diabetes tipo 2. Por otro lado, se ha observado que tasas elevadas de diabetes mellitus tipo 2 se asocian a los cambios alimentarios que se están propiciando por la permutación de dietas tradicionales a dietas más cariogénicas (que producen caries) y ricas en grasas (Partearroyo *et al.*, 2013).

La caries dental está más relacionada con la edad, la clase social y el nivel de higiene con el flúor. El consumo frecuente de hidratos de carbono simples se asocia significativamente con un mayor riesgo de caries dental. Igualmente, el consumo de refrescos con azúcar también se encuentra relacionado con un incremento tanto en la prevalencia como en la incidencia de este proceso bucal. Sin embargo, esta relación es compleja, ya que no sólo los azúcares contribuyen al desarrollo de la caries, este proceso también se encuentra interconectado con la frecuencia de la limpieza bucal, el uso de flúor en la misma, así como la composición salivar, por lo que no es admisible científicamente una relación simplista y exclusiva de asociación de la caries dental con el consumo de azúcares.

En los estudios de investigación que indicaron que el consumo de azúcar se encontraba relacionado con la hiperactividad, tenían problemas en su metodología. Sin embargo, estudios recientes concluyen que el azúcar no afecta al comportamiento de los niños, aunque no descartan un ligero efecto del azúcar en los subconjuntos de los niños, con características especiales o perfil de riesgo. Finalmente, como se puede observar, es importante recalcar que los problemas asociados vendrán determinados por un consumo excesivo, no por su presencia o ausencia en la dieta.

#### 1.5.4 Difusión de los efectos en la salud por el consumo de azúcar

Actualmente, en muchos medios de comunicación se puede observar la crítica directa al contenido de azúcar como principal causante de problemas de salud como la obesidad y caries dental. Pese a que, como se ha mencionado previamente, no hay evidencia contundente que demuestre la relación directa entre el azúcar con las enfermedades, la propaganda ha impactado en la sociedad de forma significativa. Aunado a lo anterior, en este apartado se reúnen algunos trabajos o formas en que la información ha sido masificada al respecto.

Al escribir la frase "efectos nocivos del azúcar" en el buscador *Google.com*, aparecen inmediatamente 397,000 resultados en 0.4 segundos de búsqueda. Del mismo modo, escribiendo "efectos nocivos de los edulcorantes", en el mismo buscador, mencionan 103,000 resultados en 0.39 segundos. De manera similar, se efectuó la búsqueda en *Yahoo.com* y los resultados no fueron tan diferentes en cuanto a su proporción de aparición de sugerencias: 69,000 resultados en el mismo tiempo para el primero y 19,000 resultados para el segundo caso, respectivamente.

Esto refleja la cantidad de información generada y disponible, prácticamente de 4 a 1, entre las publicaciones que enfatizan efectos nocivos a la salud que ocasiona el azúcar contra los efectos nocivos de los edulcorantes (sin especificar si son naturales o artificiales).

Así, es común encontrar en la red y en publicaciones información similar a la que mostramos a continuación:

"Los azúcares son hidratos de carbono con sabor dulce que proveen energía al organismo, han sido considerados como un elemento nutricional de cuyo abuso se podría derivar un desplazamiento de micronutrientes de la dieta. A pesar de no disponer actualmente de resultados definitivos, el mayor consumo de azúcares se podría asociar con el padecimiento de diferentes patologías." Fuente: Quiles (2013).

En páginas de internet que ofrecen la información sin un respaldo científico, pero que es dirigido hacia las personas que efectúan búsquedas directas de información, encontramos por ejemplo, "Los efectos nocivos del azúcar", de Promesa Guatemala, que en el contenido sugieren lo siguiente:

El consumo del azúcar industrial es uno de los azotes alimentarios en nuestra civilización. Detrás de la producción de este "alimento" desnaturalizado se manejan muchos aspectos de índole económicos que al parecer, son más importantes que el estudio de salud de las personas que lo consumen sin ninguna limitación por desconocimiento de sus efectos secundarios.

Se han realizado muchos estudios científicos en distintas ciudades del mundo por médicos e investigadores muy reconocidos sobre los efectos nefastos del azúcar refinado en la salud, sin embargo, las autoridades sanitarias no se han deci-

dido a actuar para controlar el consumo desmedido del mismo. El azúcar se obtiene a partir de vegetales como: la caña de azúcar, la remolacha, etc., por un proceso químico de refinamiento donde se utilizan sustancias flocculantes, cal, bisulfito de azufre, ácido fosfórico, clarificantes, etc., para obtener un producto cristalino, blanco llamado también sacarosa. (Promesa Guatemala. Obtenido el 20/10/15 de [http://www.promesaguatemala.com/resources/Los %20efectos %20nocivos %20del %20 az %C3 %BAcar.pdf](http://www.promesaguatemala.com/resources/Los%20efectos%20nocivos%20del%20az%C3%BAcar.pdf))

Si bien es cierto, que el exceso en el consumo de azúcar tiene efectos nocivos en la salud, algunos sitios en internet ofrecen la información como si la sola presencia de este componente fuera el causante de todos los problemas de salud asociado a ello:

El azúcar causa la pérdida de importantes minerales. Diversos estudios han demostrado que el azúcar disminuye la presencia de minerales en el cuerpo, como el calcio, que es expulsado del organismo. En este caso, el organismo toma el calcio de los huesos, contribuyendo a ocasionar la osteoporosis. Se considera que el delicado balance de minerales en el organismo se puede ver afectado por la ingesta de unas cuantas cucharadas de azúcar. Pero su consumo habitual puede provocar que el organismo pierda la habilidad de restaurar el balance delicado de minerales y se torne vulnerable a diversas enfermedades.

El sistema endocrino está compuesto por un gran número de glándulas interconectadas que segregan hormonas que sirven como mensajeras de las funciones corporales. Al ingerir azúcar, algunas de las glándulas se fuerzan a trabajar de más para compensar los efectos del azúcar en el cuerpo. Por ejemplo, la glándula adrenal, ubicada en la parte superior de los riñones, se sobre estimula al consumir azúcar. Esto puede afectar las adrenales que juegan un papel importante en regular el sodio y el potasio, la presión sanguínea, el metabolismo de la glucosa, la adrenalina y la secreción de esteroides sexuales.

Los alimentos requieren ser descompuestos por las enzimas para ser asimilados por las células. Las enzimas trabajan de manera óptima cuando el cuerpo tiene un balance apropiado de minerales. Al consumir azúcar disminuyen las reservas de minerales y esto puede debilitar el sistema de enzimas con lo que algunas partículas de alimentos podrían entrar a la corriente sanguínea. Si esto ocurre, el sistema inmunológico puede confundir dichas partículas con invasores, provocando que el organismo lance un ataque de defensa cada vez que se consume ese alimento.

Los fagocitos son un tipo de glóbulos blancos que engullen bacterias y virus invasores y, como parte integral del sistema inmunológico, juegan un papel importante en prevenir y controlar infecciones. Estudios recientes muestran que el número de organismos digeridos por los fagocitos disminuye dramáticamente durante más de seis horas después de ingerir azúcar.

Altas concentraciones de azúcar en el sistema circulatorio causan daños permanentes a las estructuras moleculares de las proteínas. Una vez dañadas, las proteínas pueden provocar enfermedades crónicas degenerativas.

El cáncer se ha convertido en una epidemia y es una de las principales causas de muerte. Sus causas son múltiples y se ha señalado que el azúcar puede ser una causa importante. Diversos especialistas han señalado que el azúcar puede inducir el cáncer a través del siguiente mecanismo: las células del organismo segregan productos de desecho llamados radicales libres. El cuerpo, a través de las enzimas, neutraliza los efectos negativos de los radicales libres. Estas enzimas protectoras requieren un balance adecuado de minerales para ser efectivas y cuando el azúcar reduce los minerales del cuerpo, las enzimas no son tan efectivas en sus funciones de protección. Se incrementa entonces la presencia de radicales libres que pueden causar una reducción en la disponibilidad de oxígeno para las células, esto a su vez puede llevar a mutaciones celulares cancerígenas. (El poder del consumidor. Los peligros del azúcar. Obtenido el 20/10/15 de <http://www.mipediatra.com/pdf/azucar-peligro.pdf>)

Dada esta situación, es importante generar información que permita comprender que la presencia del azúcar no es sinónimo de problemas de salud, sino conocer la cantidad adecuada de consumo, para evitar sobrepasar la IDA y entonces enfrentar este tipo de problemas. Se ha mencionado previamente que las patologías asociadas al consumo de azúcar ocurren por el efecto de varios factores, tales como el sedentarismo, la mezcla del consumo de otro tipo de alimentos o el deficiente cuidado en la salud bucal.

En los últimos años la agroindustria de la caña de azúcar se ha visto afectada por la confusión en el uso del término genérico de la palabra “azúcares”, en la cual se engloba por igual a otros endulzantes y/o edulcorantes utilizados en diversos alimentos y bebidas; esta situación le ha generado confusión al consumidor, ya que los productos alimenticios no cuentan con un etiquetado claro de los ingredientes que contienen, entendiéndose dicho término únicamente como azúcar de caña (Figura 10).

Aunado a lo anterior, se han promovido diversas campañas en sentido negativo sobre el consumo de azúcares, en las cuales se difunde al azúcar de caña como un ingrediente que por sí solo causa graves daños a la salud, tales como obesidad y diabetes, aun cuando en realidad, de acuerdo con expertos en alimentación y nutrición, no existe evidencia científica suficiente que ligue la ingesta de azúcar de caña con los males a la salud.

### 1.5.5 Riesgos a la salud por el consumo de edulcorantes

Las bebidas endulzadas con edulcorantes no calóricos (ENC) tienen un aporte energético no significativo para el requerimiento calórico diario de un individuo. Para cada ENC se ha determinado una IDA expresada en mg/kg de peso corporal (Tabla 12).

Figura 10. Los envases usan el término “azúcares”, sin definir el tipo de azúcar con el que está elaborado el producto.



Tabla 12. Edulcorantes artificiales y su rango de ingesta diaria aceptable (IDA).

Edulcorante	Bebidas	Alimentos	Confitería	Chocolates
Acesulfame potásico	BPF	2,000 mg/kg	BPF	500 mg/kg
Alitame	40 a 300 mg/kg	40 a 300 mg/kg	100 a 300 mg/kg	300 mg/kg
Aspartame	BPF	1000 a 3000 mg/kg	1000 a 10000 mg/kg	300 mg/kg
Aspartame Acesulfame	BPF	1000 mg/kg	BPF	BPF
Ciclamatos	250 mg/kg	100 a 3000mg/kg	500 mg/kg	500 mg/kg
Glucosidos de esteviol	200 mg/kg	40 a 2500mg/kg	165 a 3500 mg/kg	BPF
Neotame	20 a 100 mg/kg	10 a 100 mg/kg	330 a 1000mg/kg	33 a 100 mg/kg
Neohesperidina	30 a 50 mg/kg	20 a 50 mg/kg	50 a 400 mg/kg	50 mg/kg
Sacarina	80 a 200mg/kg	20 a 1500	500 a 2500	100 a 500
Sucralosa	300 a 2400 mg/kg	250 a 1500 mg/kg	1800 a 5000 mg/kg	400 a 800mg/kg

Tabla 12. Edulcorantes artificiales y su rango de ingesta diaria aceptable (IDA) (continuación).

Edulcorante	Bebidas	Alimentos	Confitería	Chocolates
Eritritol	BPF	BPF	BPF	BPF
Isomaltol	BPF	BPF	BPF	BPF
Jarabe de Poliglicitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Lactitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Maltitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Manitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Sorbitol	BPF	BPF	BPF	BPF
Taumatina	BPF	BPF	BPF	BPF
Xilitol	BPF	BPF	BPF	BPF

(BPF: Buenas Prácticas de Fabricación)

Fuente: Diario Oficial de la Federación publicada el 16 de julio de 2012.

Durante las últimas décadas la ingesta de edulcorantes y el riesgo de cáncer se han debatido ampliamente. Un sinnúmero de estudios han sido publicados sobre la ingesta de sacarina en ratas de laboratorio (Olney 1996, Weihrauch, 2004). Aproximadamente, en 20 grupos de estudio se analizó el efecto de altas dosis de sacarina en una generación de ratas que habían estado expuestos durante 1.5 años. Sólo en uno de los estudios se reportó un significativo aumento de neoplasias (cáncer de vejiga) en animales alimentados con sacarina (Armstrong, 1975).

De acuerdo a Howe *et al.* (1977) y Capen *et al.* (1999), citados por Durán *et al.* (2013), algunos estudios epidemiológicos anteriores habían encontrado cierta asociación con el riesgo de cáncer de vejiga en seres humanos; sin embargo, posteriormente se demostró que el metabolismo de la sacarina era específico de la especie, y que la sacarina no daba lugar a litiasis, ya sea del tracto urinario o lesiones epiteliales en los seres humanos (Fukushima *et al.*, 1983).

Una asociación positiva con el consumo de edulcorantes artificiales fue encontrada más recientemente en un estudio de casos y controles en los Estados Unidos, donde un examen de 1,860 casos de cáncer de vejiga y 3,934 controles de base poblacional demostraron que el uso excesivo de edulcorantes artificiales se asoció con un grado superior de tumores (Olney, 1996).

**Efectos adversos de la sucralosa.** Una investigación de Environ-Health (2008), encontró que Splenda, además de reducir la bacteria benéfica del intestino, aumenta el nivel de pH en los intestinos y afecta la glicoproteína del cuerpo, la cual tiene efectos cruciales de salud tales como rechazo a medicamentos como la quimioterapia, tratamientos contra el SIDA y tratamientos para enfermedades cardíacas. El hecho de que la sucralosa pueda destruir la mitad de la bacteria buena del intestino es alarmante ya que éstas forman parte vital del sistema inmunológico y ayudan a reforzar la salud en general tanto física como mental.

**Efectos adversos del aspartame.** Collison *et al.* (2012) encontró que la exposición crónica de por vida al aspartame, comenzando desde el útero, produce cambios en los parámetros de la glucosa en la sangre y afecta negativamente el aprendizaje y la memoria espacial en ratones. Después de la entrada del ciclamato y el aspartame al mercado de alimentos, enfermedades como el cáncer de vejiga no se podía vincular sólo al consumo de sacarina, porque la mayoría de los consumidores acostumbran a consumir diferentes edulcorantes artificiales (Soffritti *et al.*, 2006), también cabe mencionar que puede desarrollar o empeorar enfermedades crónicas como tumores cerebrales, síndrome de fatiga crónica, linfoma, esclerosis múltiple, Parkinson, fibromialgia, epilepsia, Alzheimer, y diabetes (Collison *et al.*, 2012).

**Efectos adversos de la sacarina.** Howe, Burch y Miller (1977), en sus estudios determinaron que las mujeres en estado de embarazo deben evitar el consumo de la sacarina. El producto consumido por una embarazada puede quedarse de manera nociva en el feto y producir otras complicaciones en los niños como alteración muscular e irritabilidad. Para las madres no es recomendable el consumo del edulcorante pues también se expulsa a través de la leche materna.

**Efectos adversos de los alcoholes de azúcar.** Los alcoholes de azúcar tienen menos calorías que el azúcar es debido a que no son absorbidos completamente por el cuerpo. Gracias a esto, comer muchos alimentos que contienen alcoholes de azúcar puede causar gas abdominal y diarrea (Saín y Berman, 1984). También cabe mencionar que el maltitol, un alcohol de azúcar muy común, aumenta el azúcar en la sangre casi tanto como el almidón de las papas; el xilitol es tóxico para los perros y algunos otros animales (Mercola, 2013).

**Efecto de los edulcorantes en el apetito y ganancia de peso en la población.** Recientemente se ha iniciado el debate sobre si el consumo de edulcorantes aumenta el apetito y el peso corporal (Arcella *et al.*, 2004). Los autores Bellisle, (2007) y Blundell, (1986) mencionan que sustituir el azúcar por edulcorantes puede ser una estrategia eficaz para el control de peso corporal, aunque los resultados son contradictorios. Se discute que los edulcorantes no poseen un poder saciador como el azúcar, inclusive podrían causar la sensación de hambre estimulando a comer en exceso, además podrían estimular los receptores del gusto, creando adicción al sabor dulce (Jing *et al.*, 2009).

Varios estudios recientes han documentado las circunstancias bajo las cuales la administración de una variedad de edulcorantes artificiales puede producir respuestas fisiológicas similares a los producidos por la administración de edulcorantes calóricos. Los últimos hallazgos muestran un aumento en la expresión de los transportadores implicados en la absorción intestinal de glucosa y la inducción de la translocación de los transportadores de glucosa en el borde del cepillo de la membrana; el aumento de dichos cambios pueden facilitar la absorción y el metabolismo de los azúcares ingeridos (Zachary, 2011; Margolskee *et al.*, 2007).

No obstante, en el caso de los edulcorantes artificiales, debido a que estos cambios intestinales no están acompañados por la presencia de azúcares ingeridos, como consecuencia, se podría aumentar el consumo de energía.

Además, estudios recientes han documentado que la sucralosa puede alterar la microflora intestinal y el aumento de peso corporal cuando se administra en las ratas (Abou-Donia *et al.*, 2008).

La evidencia adicional indica que en animales, incluyendo seres humanos, los sabores dulces pueden producir efectos fisiológicos distintos de los producidos por las consecuencias calóricas. Estudios en seres humanos han documentado la activación neuronal diferencial en el hipotálamo durante el consumo de edulcorantes calóricos en comparación con los no calóricos, sugiriendo una vez más que las diferencias en el consumo de edulcorantes pueden ser detectados (Smeets *et al.*, 2005).

En otra investigación, Vásquez *et al.* (2008) determinaron el efecto de varios factores en el retraso del crecimiento de niños de 12 a 120 meses. Además de otros factores evaluados, encontraron que el consumo de bebidas azucaradas y la adición de azúcar al biberón afectan y son considerados factores de riesgo, sin embargo no profundizan sobre el tipo de azúcar que fue ingerido por los niños.

En conjunto, estos datos apoyan la hipótesis de que el consumo de los sabores dulces en la ausencia de calorías produce efectos significativamente diferentes, en comparación con el consumo de los sabores dulces asociados con las calorías y, con el tiempo, estos efectos pueden contribuir a un balance energético positivo y al aumento de peso corporal (Smeets *et al.*, 2005). En la Figura 11 se muestran algunos edulcorantes artificiales comerciales.

En 1986, Stellman y Garfinkel elaboraron un estudio que incluyó a casi 80,000 mujeres; encontró que aquellas que utilizaron endulzantes artificiales fueron significativamente más propensas a subir de peso con el paso del tiempo que las mujeres que no lo hicieron, independientemente de su peso inicial.

Figura 11. Diversas marcas comerciales de algunos edulcorantes artificiales.



Los edulcorantes se emplean en el tratamiento de la diabetes y la obesidad como reemplazo no calórico del azúcar. Se describen tres pacientes que recibieron sacarina como edulcorante de la leche, en el orden de 100 a 200 mg/kg/día y otros tres que ingirieron edulcorante en forma accidental, en dos de los cuales se detectó sacarina o ciclamato por cromatografía en capa delgada. En estos pacientes se observó irritabilidad, estrabismo, llanto, ataxia, insomnio, hipertensión muscular, depresión, opistotonos, acufenos alucinaciones visuales y auditivas, dismetría y disartria, taquicardia, vómitos y diarrea. Concluimos que los edulcorantes producen efectos adversos por sobredosis, que su utilización, si se justifica no debe sobrepasar las dosis recomendadas y, además, que aportan escasos beneficios en pediatría (Saín y Berman, 1984).

En un estudio realizado por Durán *et al.* (2011), se determinó el consumo de edulcorantes artificiales en escolares de 6 a 14 años de la región de Valparaíso, Chile; compararon su consumo según su estado nutricional; a 281 estudiantes de ambos sexos se les realizó una evaluación antropométrica (peso y talla) y una encuesta alimentaria sobre consumo de edulcorantes. Determinaron que los estudiantes con obesidad presentaron un mayor consumo de sucralosa, aspartame, sacarina y acesulfamo-k.

La información en el etiquetado nutricional frecuentemente es incompleta, sin detallar la cantidad exacta (García-Almeida, *et al.*, 2013). Mucho obedece a que el numeral 3.6 de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, señale, mediante denominación genérica, además de todo tipo de sacarosa, como Azúcares: Todos los monosacáridos y disacáridos presentes en un alimento o bebida no alcohólica. Además, señala que en el etiquetado

frontal nutrimental (apartado 4.2.9.) indica: "La declaración nutrimental frontal a que hace referencia el Acuerdo por el que se emiten los Lineamientos de Etiquetado, será obligatoria para el caso de las grasas saturadas, otras grasas, azúcares totales, sodio y energía". Esta situación obliga a hacer un análisis minucioso acerca del contenido de ingredientes en las etiquetas de los productos a consumir.

### 1.5.6 Perspectivas en la alimentación

#### 1.5.6.1 Alimentación sana

De acuerdo a la información presentada en apartados anteriores, es necesario contar con una alimentación sana, balanceada y una actividad física que regule el consumo de los azúcares y con ello reducir las probabilidades de afectación por patologías. Sin embargo, para que la alimentación pueda ser considerada sana, debe ser suficiente, completa, armónica y adecuada. Así, se considera suficiente la alimentación que proporciona las cantidades óptimas de la energía y los nutrientes esenciales para la vida, es decir, las proteínas, grasas, hidratos de carbono, vitaminas, minerales y agua, así como la cantidad de fibra dietética necesaria para una correcta función intestinal. Las necesidades de energía y nutrientes varían para cada individuo, de acuerdo con sus características y circunstancias particulares. No obstante, para simplificar la determinación de estas necesidades, se ha establecido lo que se denomina Cantidad Diaria Recomendada (CDR) o Ingesta Diaria Recomendada (IDR) para la energía y cada nutriente, y para toda una población. Estas CDR se calculan estadísticamente con un margen suficiente que permita satisfacer las necesidades de la mayoría de los individuo (Palencia, 2002).

El cuerpo humano mediante la alimentación obtiene los nutrientes necesarios para gozar de buena salud y esto quiere decir que mantendrá su cuerpo saludable si lo que consume es nutritivo. La salud se puede definir como un estado completo bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades (OMS, 2006).

La OMS es un ente internacional que da pie para que dentro de muchos Estados nacionales se tomen medidas de políticas públicas sanitarias gubernamentales para mejorar las condiciones de vida de sus ciudadanos. De ahí la necesidad de un Estado social que regule de manera coordinada las políticas de salud pública para evitar males mayores que los ciudadanos sin un Estado promotor de mejoras sociales sería incapaz de lograr por sí mismo (OMS, 2006).

Uno de los propósitos de la OMS es el de difundir su definición de salud para crear una delimitación homogénea de alcance global. Esta definición ha sido acogida a nivel nacional por casi todos los países, incorporándola en la legislación interna de cada uno de ellos. Esta homogeneización también se aplica con respecto al estudio de las enfermedades, en vista de que las mismas trascienden las fronteras de los países,

motivo por el cual se creó la Clasificación Internacional de las Enfermedades (CIE) por parte de la OMS (1993), que es revisada y actualizada periódicamente (OMS, 2006).

El concepto de salud va de la mano con la inocuidad, nutrición y calidad de los alimentos que se consumen, debido a que es necesario que los productos alimenticios cumplan con ciertos estándares de exigencia que el consumidor antepone antes de comprar los productos comerciales y de la canasta básica. La existencia de sistemas nacionales de control de los alimentos es condición esencial para proteger la salud y seguridad de los consumidores nacionales. Es también fundamental para que los países puedan garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos exportados y para garantizar que los alimentos importados se atengan a los requisitos nacionales. El nuevo entorno mundial del comercio de alimentos obliga tanto a los países importadores como a los exportadores a reforzar sus sistemas de control de los alimentos y a adoptar y hacer observar estrategias de control de los alimentos basadas en el riesgo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] y OMS, 2003).

Los consumidores están mostrando un interés sin precedentes en la forma en que se producen, elaboran y comercializan los alimentos, y exigen cada vez más a sus gobiernos que se responsabilicen de la inocuidad de los alimentos y de la protección del consumidor. La FAO y la OMS tienen ahora gran interés en promover sistemas nacionales de control de los alimentos que estén basados en principios y directrices de carácter científico, y que abarquen todos los sectores de la cadena alimentaria. Ello reviste especial importancia para los países en desarrollo que tratan de mejorar la inocuidad y calidad de los alimentos y la nutrición, pero exigirá un fuerte compromiso político y normativo (FAO y OMS, 2003).

En este contexto, los edulcorantes han pasado a ser un tema de gran importancia en los últimos años, debido a que los consumidores son más exigentes al momento de consumirlos porque estos tienen relación con la salud y las enfermedades metabólicas como diabetes e hipertensión, que afectan gravemente la salud de los humanos.

Para el consumidor final, el azúcar tiene también otros significados, especialmente cuando se refiere a la salud. El desequilibrio en el consumo de azúcares, combinado con dietas intensivas en grasas, ha generado altos índices de obesidad y riesgos de enfermedades crónicas, tipo diabetes y cardiovasculares, razón por la cual hay segmentos de los consumidores que están optando por edulcorantes menos calóricos, sustituyendo a la sacarosa. Lo que inclina a la industria a utilizarla es su bajo costo y también sus ventajas, pues es más dulce, más estable y más limpia. Al mismo tiempo hay una discusión entre los expertos si al final implica menos calorías para el consumidor (Mertens, 2008).

El segundo cambio es la mayor exigencia hacia la calidad, especialmente la limpieza y la seguridad (inocuidad) del producto ante agentes químicos, físicos y

biológicos (HACCP). Se incluye el control de los agentes sensibles para personas con alergias, y complementariamente está surgiendo el nicho de mercado de los azúcares orgánicos. El tercer cambio importante que se observa en el consumidor es el uso del azúcar como biocombustible ante el alza en los precios del petróleo, y ante la necesidad de reducir las emisiones de carbono (CO<sub>2</sub>) de los automóviles (Mertens, 2008).

### 1.5.6.2 Inocuidad y calidad de los alimentos y protección del consumidor

Los términos inocuidad de los alimentos y calidad de los alimentos pueden inducir a engaño. Cuando se habla de inocuidad de los alimentos se hace referencia a todos los riesgos, sean crónicos o agudos que pueden hacer que los alimentos sean nocivos para la salud del consumidor. Se trata de un objetivo que no es negociable. El concepto de calidad abarca todos los demás atributos que influyen en el valor de un producto para el consumidor; engloba, por lo tanto, atributos negativos, como estado de descomposición, contaminación con suciedad, decoloración y olores desagradables, pero también atributos positivos, como origen, color, aroma, textura y métodos de elaboración de los alimentos. Esta distinción entre inocuidad y calidad tiene repercusiones en las políticas públicas e influye en la naturaleza y contenido del sistema de control de los alimentos más indicado para alcanzar objetivos nacionales predeterminados (FAO y OMS, 2003).

Por alimentos “inocuos y nutritivos” se entenderá “alimentos respecto de los cuales hay una garantía de que no causarán daño al consumidor y proporcionarán el valor nutricional previsto cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinan”. Esta definición se basa en los conceptos de inocuidad e idoneidad de los alimentos que aparecen en los Principios Generales de Higiene de los Alimentos (FAO y OMS, 2005).

La confianza en la inocuidad e integridad de los alimentos es un requisito importante para los consumidores. Entre los factores que contribuyen a los posibles riesgos de los alimentos se incluyen las prácticas agrícolas inadecuadas, la falta de higiene en todas las fases de la cadena alimentaria, la ausencia de controles preventivos en las operaciones de elaboración y preparación de los alimentos, la utilización inadecuada de productos químicos, la contaminación de las materias primas, los ingredientes y el agua, el almacenamiento insuficiente o inadecuado (FAO y OMS, 2003).

Las preocupaciones concretas sobre los riesgos alimentarios se han centrado en general en los siguientes aspectos:

- Riesgos microbiológicos.
- Residuos de plaguicidas.
- Utilización inadecuada de los aditivos alimentarios.

- Contaminantes químicos, incluidas las toxinas biológicas.
- Adulteración.

Pese a esta situación, las expectativas del mercado consideran que la demanda de productos dietéticos y bajos en calorías continuará aumentando durante los próximos años debido a la entrada en el mercado de edulcorantes con mejor sabor y más adaptados a su uso en los alimentos (Solá, 2014). Las previsiones indican que los edulcorantes intensivos continuarán siendo los principales sustitutos del azúcar (Figura 12).

Figura 12. Variedad de productos dietéticos frecuentes en el mercado.



# 2

## El mercado de los edulcorantes



### 2.1 Resumen

El azúcar fue el edulcorante más consumido en el mundo hasta mediados del siglo xx. Sin embargo, en la actualidad, la población cada vez más limita su consumo, adoptando un papel activo a la hora de elegir los alimentos, llevando a su vez a que los fabricantes se involucren en el desarrollo de productos más sanos desde el punto de vista nutricional. Debido a la gran expansión que está experimentando actualmente el mercado de las bebidas bajas en calorías, yogures, helados, dulces, cereales, gomas de mascar, edulcorantes de mesa e incluso en suplementos nutricionales, el mercado de los edulcorantes es de los más dinámicos dentro de los aditivos alimentarios. El presente capítulo se encuentra dividido en dos partes principales: un contexto internacional del mercado de los edulcorantes y otro contexto nacional; se hace énfasis en las particularidades regionales y a nivel país. Se analiza la evolución de la producción, consumo, precios internacionales y comercio de azúcar y otros edulcorantes a nivel mundial; se estudia además el papel de los principales países productores y consumidores. En el caso de México, se analiza la situación actual de los edulcorantes, presentando su comportamiento en las principales variables como la producción, el consumo, el comercio, los precios, la política azucarera y aranceles de importación y exportación vigentes en el país, además de la importancia en la estructura productiva regional y su impacto social.

### 2.2 Contexto internacional

El ser humano siempre ha sido atraído por el sabor dulce, quizá éste fue uno de los primeros métodos que utilizó en la selección de alimentos seguros. El azúcar fue el edulcorante más consumido en el mundo hasta mediados del siglo xx, pero en la actualidad la población limita su consumo cada vez más, adoptando un papel activo a la hora de elegir los alimentos, llevando a su vez a que los fabricantes se impliquen en el desarrollo de productos más sanos desde el punto de vista nutricional.

El mundo nunca ha estado tan inundado de azúcar. A la vez que las cosechas de caña crecen en India y Tailandia, los agricultores de Brasil, el mayor productor del mundo, están aumentando las exportaciones para aprovechar la caída del real, que mejora sus márgenes de beneficio. Los cultivos que se vieron perjudicados por la sequía del 2014 se han reavivado por la lluvia. Se prevé que la producción mundial supere a la demanda por quinto año consecutivo, provocando que las existencias se sitúen en los niveles más altos de la historia, según los datos de la Organización Internacional del Azúcar [OIA] (2015).

Todo ese azúcar apunta a que los precios mundiales, que ya han bajado un 50 % en tres años, van a caer aún más. La tendencia es absolutamente bajista, la oferta es muy amplia, la buena cosecha y la debilidad de la moneda en Brasil también están

haciendo sus exportaciones más atractivas. La producción global de azúcar en el año superará a la demanda en 620,000 toneladas, llevando las existencias acumuladas a un nivel récord de 7,989 millones de toneladas, una cifra que prácticamente bastaría para abastecer durante un año a los siete principales países consumidores (OIA, 2015).

Dos décadas de crecimiento ininterrumpido del consumo y cuatro años de precios a la baja pueden frenar algo el exceso de oferta. En Europa, la población consumió una media de 37.1 kilogramos de azúcar en 2013, frente a los 35.1 kilos de 2011. En Estados Unidos, el consumo aumentó de 31 a 32.5 kg por persona, la media en el mundo es de 23 kg por persona (OIA, 2015). Aunque el consumo crece, también hay más azúcar en camino. India, el segundo mayor productor, tuvo en 2015 la mejor cosecha en tres años, con 26 millones de toneladas. Además, ha aprobado subvenciones a las exportaciones de hasta 1.4 millones de toneladas de azúcar sin refinar para ayudar a los productores a pagar deudas con los agricultores.

A este panorama internacional del azúcar, con una creciente producción que supera al consumo y por tanto reduce los costos del producto, habrá que agregarle que desde hace tres décadas la producción de sustitutos de azúcar va en auge y está desplazando un gran segmento de mercado que era exclusivo del azúcar.

La demanda de edulcorantes alternativos al azúcar está creciendo anualmente, y el mercado muestra cada vez mayor interés por los de origen natural frente a los sintéticos. Sin embargo, ante los altos costos de producción de los primeros, los segundos se manejan como una alternativa viable para la industria de bebidas y alimentos. El auge de este tipo de productos se debe a la preocupación actual por el denominado síndrome metabólico y todas las enfermedades relacionadas, como el sobrepeso y la obesidad, la diabetes, la hipertensión arterial o colesterol.

El área de los edulcorantes es en este momento una de las más dinámicas dentro del campo de los aditivos alimentarios, por la gran expansión que está experimentando actualmente el mercado de las bebidas bajas en calorías, yogures, helados, dulces, cereales, gomas de mascar, edulcorantes de mesa e incluso en suplementos nutricionales.

En virtud de lo anterior, en el presente capítulo se analiza la evolución de la producción, consumo, precios internacionales y comercio de azúcar y otros edulcorantes a nivel mundial. Se estudia el papel de los principales países productores y consumidores, destacando la participación de México.

## 2.2.1 Producción

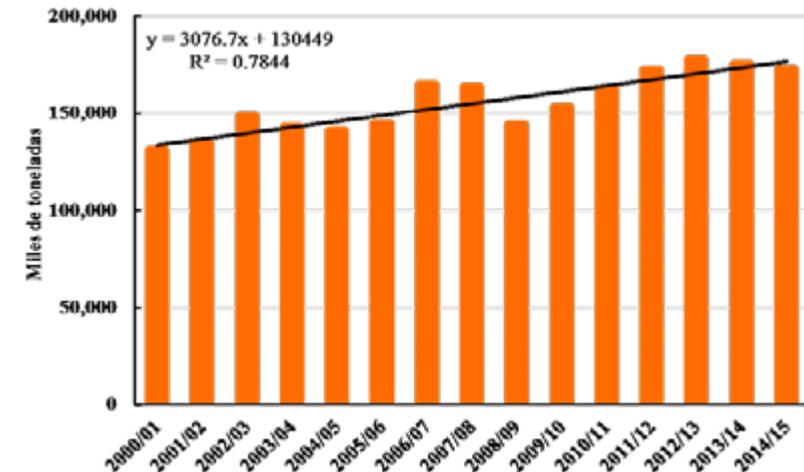
### 2.2.1.1 Azúcar: 2000 a 2015

#### 2.2.1.1.1 Mundial

La producción mundial de azúcar para el período 2000/2001 a 2014/2015, muestra una tendencia creciente, con una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 1.8 %, lo que equivale a un incremento de poco más de tres millones de toneladas

por año. En el ciclo 2012/2013 se presentó un récord histórico de 175,010 millones de toneladas, y de 2011 a la fecha se ha superado la barrera de los 170,000 millones de toneladas (Figura 13).

Figura 13. Tendencias en la producción mundial de azúcar.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) la producción mundial de azúcar para el ciclo 2014/2015 se ubicó en 172.458 millones de toneladas. Este volumen representa una reducción en la producción de 1.5 % con respecto al ciclo 2013/2014. La disminución en la producción de Brasil, Tailandia y China, por problemas de sequía, ocasionó una reducción anual de 2.5 millones de toneladas en la oferta mundial del edulcorante.

#### 2.2.1.1.2 Regional

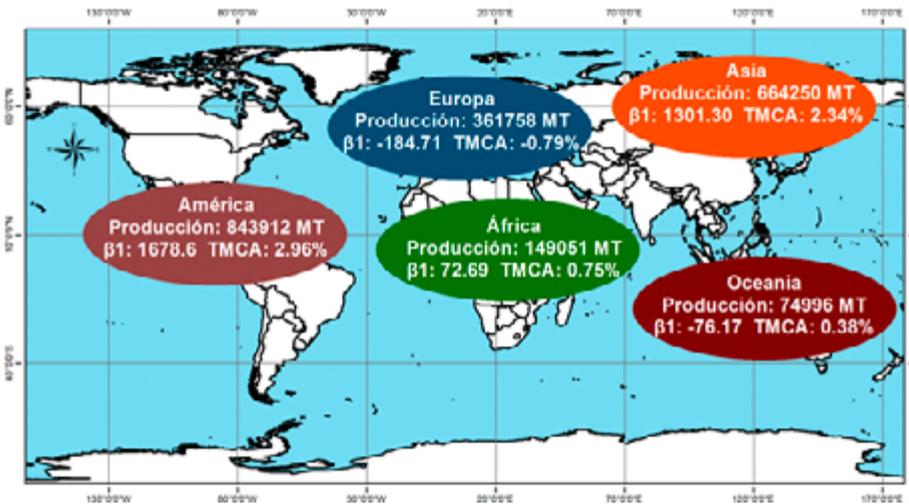
De 2000 a 2015, el 72 % de la producción de azúcar en el mundo se concentró en el continente Americano y Asiático (Tabla 13; Figura 14), con una Tasa Media de Crecimiento Anual (MCA) de 2.96 % y 2.34 %, respectivamente, lo que representa un incremento gradual de 1,678,600 y 1,301,300 de toneladas por año. Por el contrario, la Unión Europea presenta una disminución del 0.79 % para el mismo período.

Tabla 13. Producción mundial de azúcar por regiones de 2000 a 2015 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		Total	%	TMCA	* R <sup>2</sup>
	* $\beta_0$	* $\beta_1$				
América	42 832.00	1 678.60	843 912.00	40	2.96	0.92
Europa	25 595.00	-184.71	361 758.00	17	-0.79	0.14
África	9 355.20	72.69	149 051.00	7	0.75	0.66
Asia	33 873.00	1301.30	664 250.00	32	2.34	0.54
Oceanía	5 609.10	-76.17	74 996.00	4	0.38	0.30

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios.  $\beta_0$ : ordenada al origen;  $\beta_1$ : pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R<sup>2</sup>: bondad de ajuste.  
Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

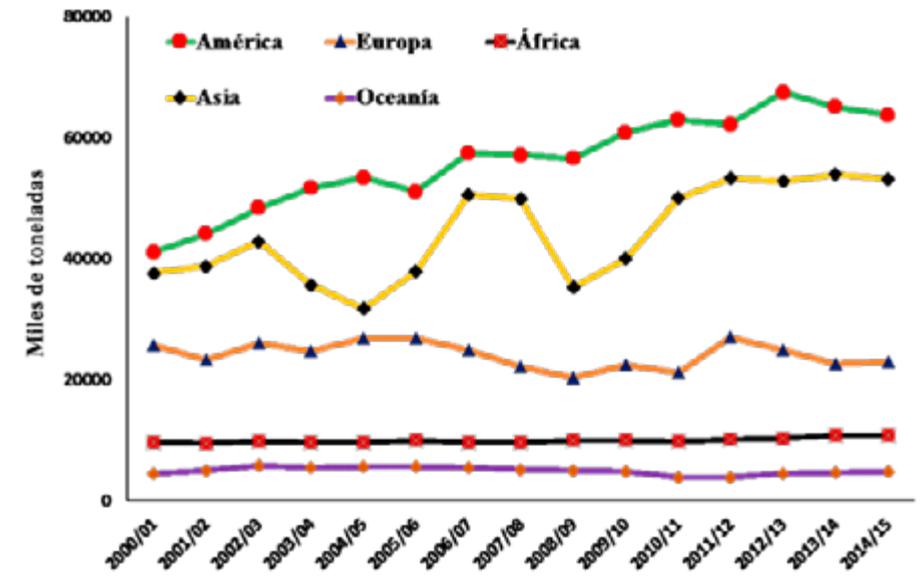
Figura 14. Producción mundial de azúcar por regiones, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

La dinámica de producción azucarera en el mundo muestra tendencias a la alza. Sin embargo para el último ciclo azucarero 2014/2015 se observan disminuciones sobre todo en el continente Americano y Asiático del 2.20 % y 1.37 % con relación a 2013/2014, respectivamente, atribuidas en su mayoría a variaciones en el clima (Figura 15).

Figura 15. Tendencias de la producción mundial de azúcar de 2000 a 2015 por región.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

### 2.2.1.1.3 Por países

Por lo que respecta a la producción por países, Brasil es el principal productor de azúcar en el mundo con el 26 %, seguido de la India (20 %) y la Unión Europea (16 %). México ocupa la séptima posición con el 5 %. La dinámica de producción muestra a Brasil con la TMCA más alta (5.05 %), lo que representa un incremento gradual de 1,422,400 toneladas de azúcar por año; en contraparte la Unión Europea ha tenido una desaceleración en su producción de -2.02 % que significa una pérdida progresiva de 465,080 toneladas por año, cabe precisar que el azúcar de la Unión Europea en su mayoría es de remolacha azucarera. México muestra un incremento gradual de 85,330 toneladas por año con una TMCA de 1.8 % (Tabla 14; Figura 16).

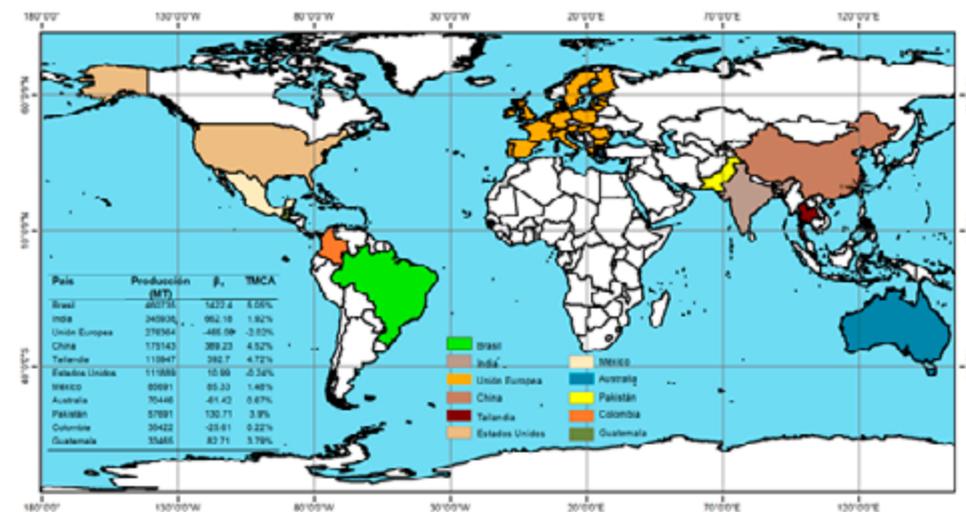
Tabla 14. Principales países productores de azúcar en el mundo de 2000 a 2015 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas			%	TMCA	* R <sup>2</sup>
	* $\beta_0$	* $\beta_1$	Total			
Brasil	19 336	1 422.4	460 735	26 %	5.05	0.88
India	17 765	662.18	345 938	20 %	1.92	0.31
Unión Europea	22 145	-465.08	276 364	16 %	-2.02	0.58
China	8 562.3	389.23	175 143	10 %	4.52	0.52
Tailandia	4588.2	392.7	115 947	7 %	4.72	0.71
Estados Unidos	7 371.4	10.99	111 889	6 %	-0.24	0.01
México	5 030.1	85.33	85 691	5 %	1.48	0.35
Australia	5 187.7	-61.42	70 446	4 %	0.67	0.23
Pakistán	2 800.4	130.71	57 691	3 %	3.9	0.54
Colombia	2 566.4	-25.61	35 422	2 %	0.22	0.33
Guatemala	1 569.3	82.71	33 465	2 %	3.79	0.87

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios.  $\beta_0$ : ordenada al origen;  $\beta_1$ : pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R<sup>2</sup>: bondad de ajuste.

Fuente: Elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

Figura 16. Principales países productores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



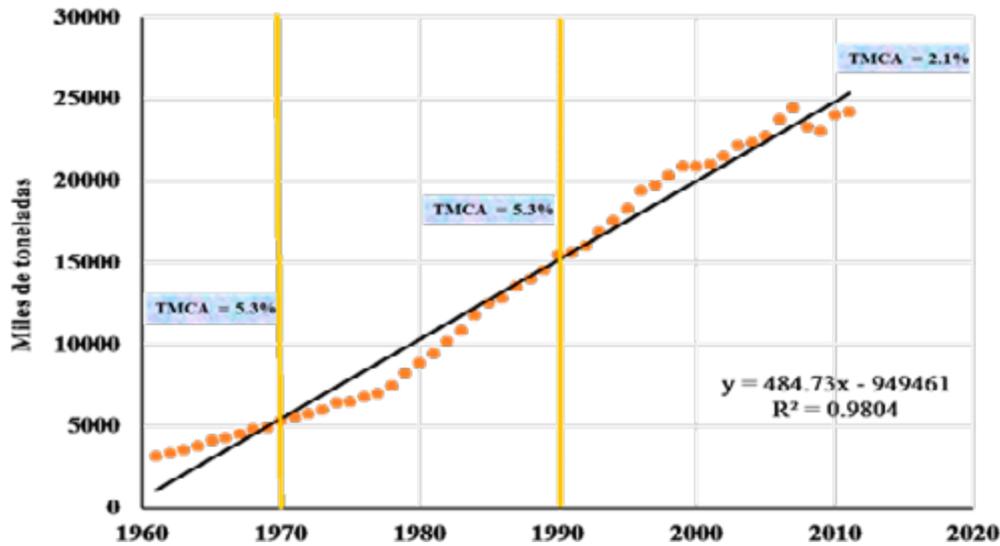
Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

## 2.2.1.2 Otros edulcorantes: 2000 a 2013

### 2.2.1.2.1 Mundial

El cambio en los patrones de consumo, ha hecho que la producción de edulcorantes diferentes al azúcar de caña también se incremente. La demanda de sustitutos de azúcar, sobre todo en las industrias de alimentos y bebidas, está ocasionando que cada vez más, edulcorantes artificiales calóricos como el jarabe de maíz de alta fructosa, y artificiales no calóricos como el aspartame, ciclamato, acesulfame K, sacarina y sucralosa se encuentren como ingredientes en los diferentes productos alimenticios. Un segmento importante de mercado también lo ocupa la entrada del edulcorante natural no calórico denominado estevia. Sin embargo, pese a que se tiene conocimiento de la producción de edulcorantes diferentes al azúcar de caña, es difícil tener un control exacto sobre los inventarios de producción, debido principalmente a que se utilizan en combinaciones no explícitas en los productos de consumo. De acuerdo con FAOSTAT (2015), la producción de edulcorantes diferentes al azúcar, de 1960 a 2013, creció a un ritmo de 484,730 mil toneladas por año; para 2013 la producción se situó en más de 24 millones de toneladas (Figura 17), de las cuales 8.5 millones corresponden a jarabe de maíz de alta fructuosa, con el principal productor mundial: Estados Unidos.

Figura 17. Tendencias en la producción mundial de edulcorantes diferentes al azúcar.



Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

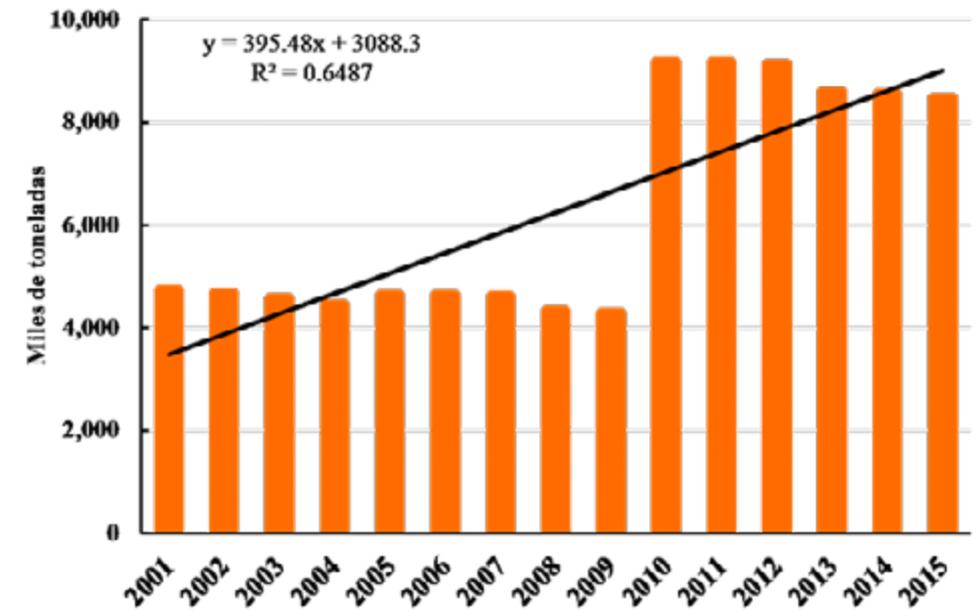
Un comparativo por períodos, de 1960 a 2013, muestra que de 2000 a la fecha, las producciones se sitúan por arriba de los 20 millones de toneladas, con una TMCA de 2.1 % (Tabla 15). Este incremento en las producciones se ha visto favorecido por las nuevas tecnologías que permiten la obtención de edulcorantes artificiales por medio de técnicas que hace tres décadas eran impensables. El sector más favorecido ha sido el de JMAF, producido en su gran mayoría por Estados Unidos, en sus dos presentaciones HFCS-42 y HFCS-55, este sector en particular ha crecido de 2001 a 2015 a un ritmo gradual de 395,480 toneladas por año (Figura 18).

Tabla 15. Dinámica de producción de edulcorantes diferentes al azúcar, 1960 a 2013 (miles de toneladas).

Período	Miles de toneladas		TMCA
	Total	Media anual	
Antes 1970	41 856	4 185.6	5.3
1971 a 1990	193 710	9 685.5	5.3
1991 a 2013	437 949	20 854.72	2.1

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

Figura 18. Dinámica de la producción de JMAF en Estados Unidos de 2001 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

#### 2.2.1.2.2 Regional

De 2000 a 2013, América es la principal región productora de edulcorantes diferentes al azúcar en el mundo con el 57 %, seguida de Europa (23 %) y Asia (19 %). El edulcorante de mayor producción en América es el JMAF, mientras que en Europa es el aspartame. Sin embargo, las mayores TMCA para el mismo período se encuentran en África (5.99 %) y Asia (3.97 %), donde países como Sudáfrica y China han comenzado a desarrollar mejoras tecnológicas para la obtención de edulcorantes no calóricos, tanto sintéticos como naturales, caso concreto de la estevia (Tabla 16).

Tabla 16. Producción de edulcorantes diferentes al azúcar, 2000 a 2013 por regiones (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
América	13 215.25	158 583	57 %	0.20
Europa	5 240.00	62 880	23 %	3.04
Asia	4 453.42	53 441	19 %	3.98
África	144.33	1 732	1 %	5.99
Oceanía	120.08	1 441	1 %	-4.61

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

#### 2.2.1.2.2 Por países

El principal productor de sustitutos del azúcar en el mundo es Estados Unidos de América con el 54 %, seguido de Francia (6 %), Alemania (2 %) y China (2 %). El principal edulcorante producido en Estados Unidos es el JMAF, mientras que en Francia y Alemania es el aspartame. Destaca China con una TMCA de 23.41 % como resultado de un incremento en su producción, sobre todo con edulcorantes no calóricos como la estevia y Luo Han Guo. Por su parte, México también destaca como productor de sustitutos de azúcar, aunque presenta una TMCA negativa (-4.64 %) producto de una desaceleración en sus producciones, particularmente de jarabe de maíz de alta fructuosa (Tabla 17).

Tabla 17. Principales países productores de edulcorantes diferentes al azúcar, 2000 a 2013 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
Estados Unidos de América	12 223.83	146 686	54	0.20
Francia	1 321.25	15 855	6	2.44
Alemania	450.92	5 411	2	3.88
China	395.42	4 745	2	23.41
Canadá	356.33	4 276	2	-0.19
Italia	352.50	4 230	2	0.57
Hungría	342.25	4 107	2	4.32
Austria	265.00	3 180	1	1.96
México	222.08	2 665	1	-4.64
Bélgica	77.17	926	0	-3.41
Otros	5 801.21	81 218	30	
Total	19 521.36	273 299	100 %	

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

#### 2.2.2 Consumo

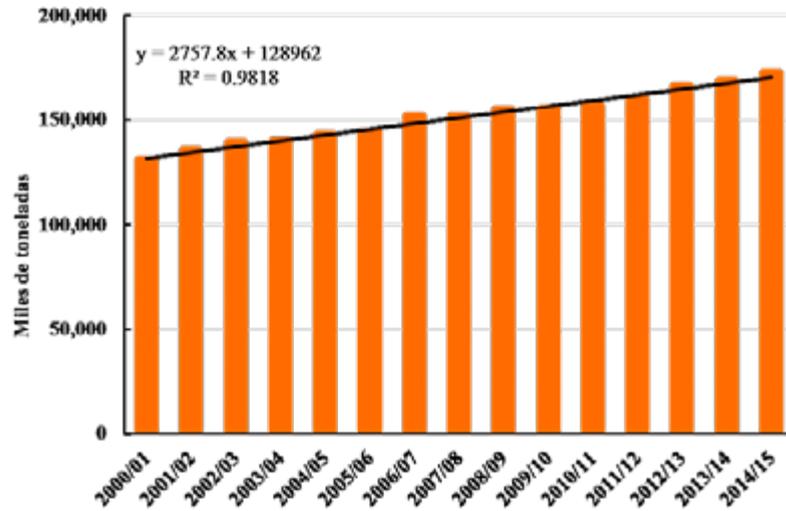
##### 2.2.2.1 Azúcar: 2000 A 2015

###### 2.2.2.1.1 Mundial

De acuerdo con la USDA (2016), la demanda mundial del azúcar en 2015 ascendió a 171.9 millones de toneladas, es decir, 2.2 % por arriba del ciclo previo. El consumo humano representa 99.5 % de la demanda del dulce. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) un adulto debe de consumir 25 gramos de azúcar al día, equivalente a 6.25 cucharas de azúcar.

La tendencia en el consumo de azúcar a nivel mundial, para el período 2000 a 2015, presentó una TMCA de 1.86 %, lo que representa un incremento gradual de 2 758 000 toneladas por año (Figura 19). Este comportamiento se debe principalmente al crecimiento de la población, el ingreso, el precio y la demanda de productos sustitutos.

Figura 19. Tendencias en el consumo mundial de azúcar.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

### 2.2.2.1.2 Regional

De 2000 a 2015 la región de Asia se muestra como la principal consumidora de azúcar en el mundo, con el 45 %, seguida de América (25 %) y Europa (19 %). La TMCA para Asia se sitúa en 2.98 %, lo que representa un incremento gradual de 2,004,300 toneladas por año. Llama la atención que la TMCA para Europa ha disminuido en 0.44 % lo que representa una reducción de 222,590 mil toneladas de azúcar por año (Tabla 18; Figura 20), influenciada en gran parte por su desaceleración demográfica y restricciones a la inmigración.

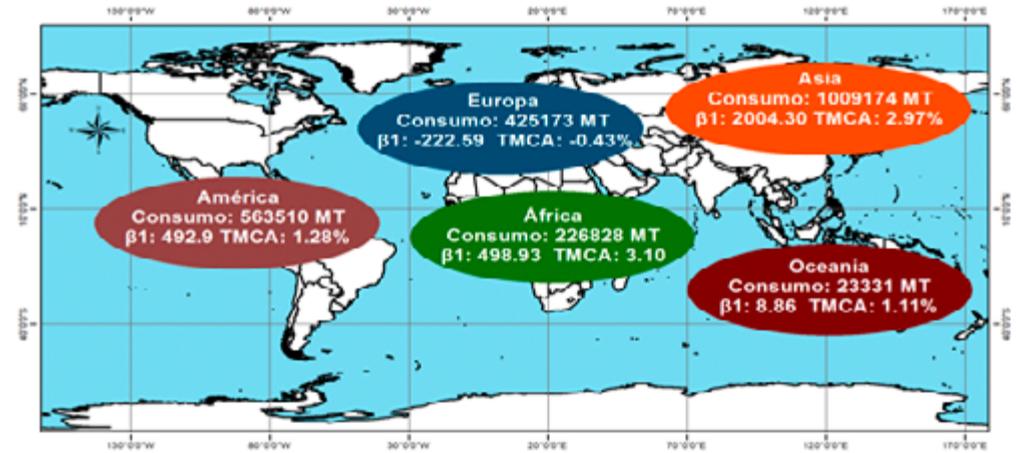
Tabla 18. Consumo mundial de azúcar por regiones de 2000 a 2015 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas			%	TMCA	*R²
	*β <sub>0</sub>	*β <sub>1</sub>	Total			
América	33 624.00	492.90	563 510.00	25	1.29	0.94
Europa	30 126.00	-222.59	425 173.00	19	-0.44	0.41
África	11 130.00	498.93	226 828.00	10	3.11	0.98
Asia	51 244.00	2 004.30	1 009 174.00	45	2.98	0.98
Oceanía	1 484.50	8.86	23 331.00	1	1.11	0.23

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios. β<sub>0</sub>: ordenada al origen; β<sub>1</sub>: pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R²: bondad de ajuste.

Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

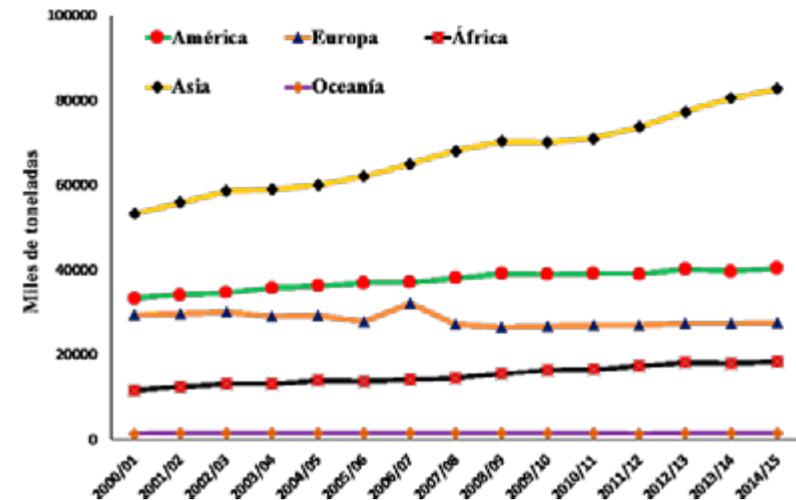
Figura 20. Consumo mundial de azúcar por regiones, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

Las tendencias en el consumo mundial de azúcar sitúan a Asia con los mayores incrementos anuales (Figura 21), influenciados principalmente por los altos índices de explosión demográfica que presenta la región, siendo un mercado potencial para colocar los excedentes de azúcar.

Figura 21. Tendencias en el consumo mundial de azúcar por región, 2000 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

### 2.2.2.1.3 Por países

Los diez principales países consumidores de azúcar, per cápita, en el mundo, de acuerdo con la OMS (2014) fueron: en décimo lugar China, donde el consumo de azúcar se sitúa en 33 gramos por persona al día; seguida de India, con un consumo de 58 gramos per cápita; Indonesia y Pakistán empatan con un consumo de 62 gramos. Estados Unidos aparece en el sexto lugar con un promedio de 90 gramos de azúcar per cápita; Egipto, con 94 gramos, ocupa el quinto lugar, la Unión Europea, el cuarto lugar con 100 gramos. México se encuentra en el tercer lugar en el consumo de azúcar per cápita, con 104 gramos. Rusia ocupa el segundo lugar con 108 gramos de azúcar, y el primer lugar es para Brasil, con 152 gramos, seis veces la recomendación de la Organización Mundial de la Salud.

En términos absolutos, para el período 2000 a 2015, el principal consumidor de azúcar en el mundo es India, con el 25 %, seguido de la Unión Europea (21 %) y China (15 %). Para el caso específico de América: Brasil (12 %), Estados Unidos (11 %) y México (6 %), resultan ser los principales consumidores. Las menores TMCA las presentan la Unión Europea (0.13 %) y México (0.33 %) lo que implica reducciones graduales de 33,380 y 43,350 mil toneladas de azúcar por año, respectivamente (Tabla 19; Figura 22). La pérdida en el consumo gradual de azúcar en México se debe en gran medida a la sustitución de este endulzante por otros tipos de edulcorantes, en específico del JMAF. Por el contrario, India (TMCA = 2.8 %) y China (TMCA = 4.77 %) presentan incrementos graduales de 579,590 y 534,540 mil toneladas de azúcar por año, como respuesta a sus altos índices de población (más de 1 millón 300 mil personas para China y 700 millones para India).

Tabla 19. Principales países consumidores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas			%	TMCA	*R <sup>2</sup>
	*β <sub>0</sub>	*β <sub>1</sub>	Total			
India	17 434	579.59	331 061	25	2.8	0.93
Unión Europea	18 573	-33.38	274 583	21	0.13	0.02
China	8 870.7	534.54	197 205	15	4.77	0.92
Brasil	9 575	163.04	163 190	12	1.46	0.72
Estados Unidos	8 572.6	150.13	146 604	11	1.05	0.85
México	5 430.8	-43.35	76 261	6	0.33	0.22
Pakistán	3 406.8	74.95	60 095	5	1.28	0.93

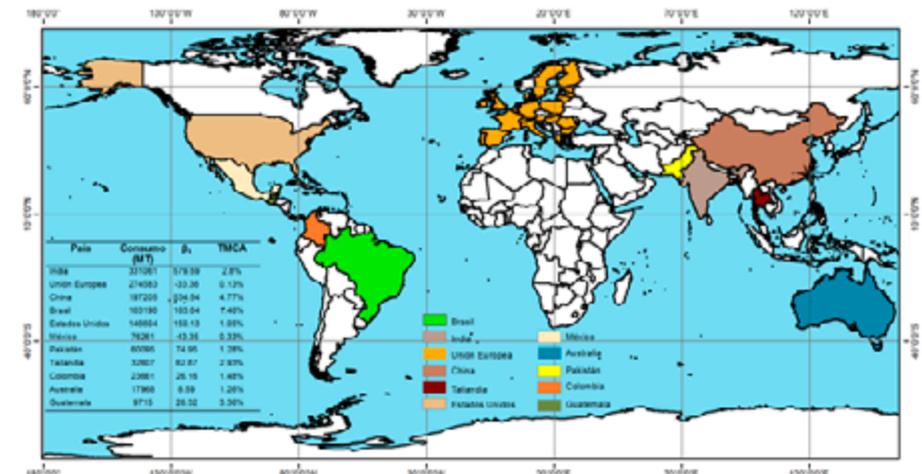
Tabla 19. Principales países consumidores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas) (continuación).

Región	Miles de toneladas			%	TMCA	*R <sup>2</sup>
	*β <sub>0</sub>	*β <sub>1</sub>	Total			
Tailandia	1 670.9	62.87	32 607	2	2.93	0.89
Colombia	1 368.1	26.16	23 661	2	1.48	0.58
Australia	1 129.1	8.59	17 968	1	1.26	0.26
Guatemala	437.12	26.32	9 715	1	3.36	0.81

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios. β<sub>0</sub>: ordenada al origen; β<sub>1</sub>: pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R<sup>2</sup>: bondad de ajuste.

Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

Figura 22. Principales países consumidores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

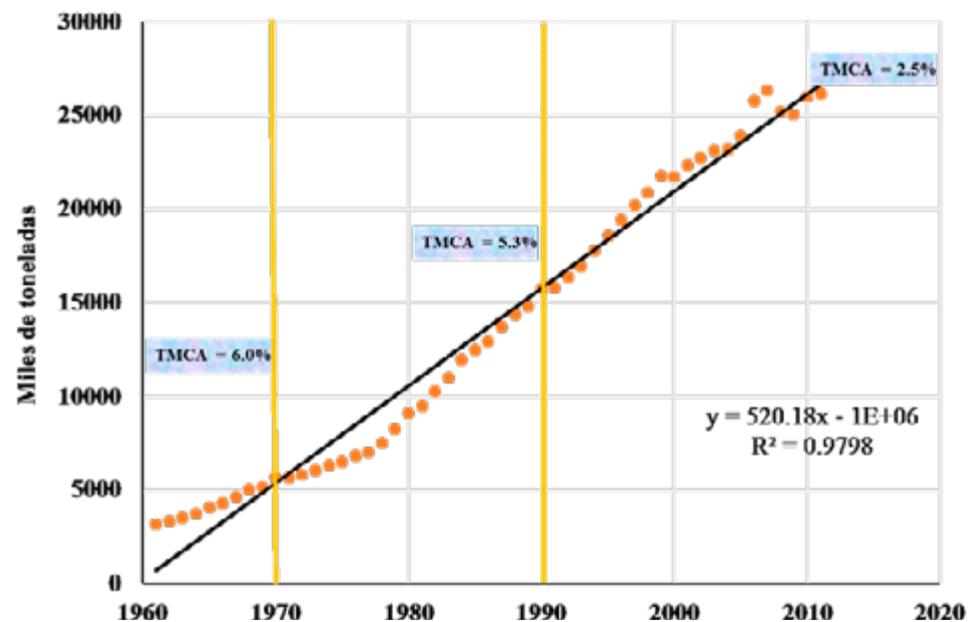
### 2.2.1.2 Otros edulcorantes: 2000 A 2013

#### 2.2.1.2.1 Mundial

Pese a que se tiene conocimiento de la producción de edulcorantes diferentes al azúcar, es difícil tener un control exacto sobre los inventarios de consumo, debido a que se utilizan en combinaciones no explícitas en los productos. De acuerdo con FAOS-

TAT (2015) el consumo de edulcorantes diferentes al azúcar de 1960 a 2013 creció a un ritmo de 520,180 mil toneladas por año, a partir de 2010 el consumo se situó en más de 25 millones de toneladas (Figura 23), de las cuales el 40 % corresponden a JMAF.

Figura 23. Tendencias en el consumo mundial de edulcorantes diferentes al azúcar.



Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

A partir de 1997, el consumo de sustitutos de azúcar se sitúan por arriba de los 20 millones de toneladas, con una TMCA de 2.5 % (Tabla 20). Este incremento en el consumo se ha visto favorecido por los avances tecnológicos en materia de telecomunicaciones que permiten mayores niveles de publicidad en pro de vida saludable y estética corporal, desplazando al azúcar de los gustos y preferencias de la población. Entre los edulcorantes de mayor consumo que se están abriendo brecha en el mercado se encuentran los sintéticos no calóricos como el aspartame, ciclamato, asesulfame K y sacarina, aunque algunos países han puesto restricciones a su consumo al desconocerse los efectos secundarios y riesgos a la salud. Otro edulcorante que de 2011 a la fecha ha tomado relevancia en el mercado mundial por ser natural no calórico es la estevia demandado en su mayoría por el mercado Chino.

Tabla 20. Dinámica de consumo de edulcorantes diferentes al azúcar, 1960 a 2013 (miles de toneladas).

Período	Miles de toneladas		TMCA
	Total	Media anual	
Antes 1970	42 549	4254.9	6.0 %
1971 a 1990	195 837	9791.85	5.3 %
1991 a 2013	459 279	21 870.4286	2.5 %

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.1.2.2 Regional

De 2000 a 2013, América fue la principal región consumidora de edulcorantes diferentes al azúcar en el mundo, con el 54 %; seguida de Europa (26 %) y Asia (18 %). El edulcorante de mayor consumo en América para ese período fue el JMAF. Las mayores TMCA para el mismo período se encuentran en África (9.13 %), Oceanía (5.59 %) y Europa (4.65 %), destaca esta última región donde las normas de calidad y seguridad alimentaria han hecho que el mercado del azúcar sea desplazado por sustitutos no calóricos como la estevia en fechas recientes (Tabla 21).

Tabla 21. Consumo de edulcorantes diferentes al azúcar de 2000 a 2013 por regiones (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
África	366.83	4 402	2 %	9.13
América	13 136.08	157 633	54 %	-0.05
Asia	4 320.67	51 848	18 %	1.85
Europa	6 408.08	76 897	26 %	4.65
Oceanía	180.75	2 169	1 %	5.60

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.1.2.3 Por países

El principal consumidor de sustitutos de azúcar en el mundo es Estados Unidos de América con el 47 %, seguido de Francia (5 %), Alemania (3 %) y México (3 %). Destacan Francia y México con las TMCA más altas: 12.93 % y 10.63 %, respectivamente (Tabla 22). En el caso de México, el consumo de sustitutos de azúcar crece a un ritmo más acelerado que en otras latitudes, influenciado principalmente por el alto índice de consumo de refrescos endulzados con JMAF.

Tabla 22. Principales países consumidores de edulcorantes diferentes al azúcar, 2000 a 2013 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
Estados Unidos de América	11 357	136 284	47 %	-1.28
Francia	1 108.92	13 307	5 %	12.93
Alemania	835.17	10 022	3 %	4.37
México	784.25	9 411	3 %	10.63
Canadá	460.92	5 531	2 %	1.53
Bélgica	366.08	4 393	2 %	4.59
Austria	263.92	3 167	1 %	-5.68
Hungría	256.17	3 074	1 %	2.18
Italia	247.67	2 972	1 %	-1.36
China	110.75	1 329	0 %	4.66
Otros	7 297.79	102 169	35 %	
Total	20 832.79	291 659	100 %	

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

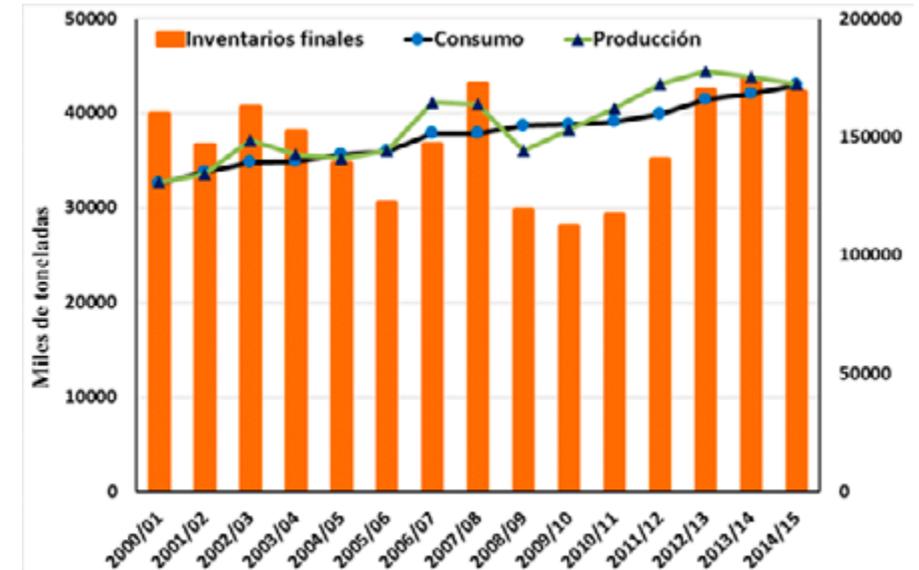
## 2.2.3 Precios internacionales

### 2.2.3.1 Azúcar

De acuerdo con USDA, en 2015 los inventarios finales de azúcar se redujeron en una tasa anual de 3.2 %, para ubicarse en 42.2 millones de toneladas, lo que representa una proporción de 24.6 % en relación con el consumo global. Asimismo, se presentó

disminución en el comercio mundial de azúcar, principalmente por reducciones en las exportaciones de Brasil e India; es decir, durante el 2014 y el 2015 la producción mundial de azúcar fue mayor al consumo global por quinto año consecutivo (Figura 24).

Figura 24. Relación entre consumo, producción e inventarios finales de azúcar en el mundo 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS.USDA (2015).

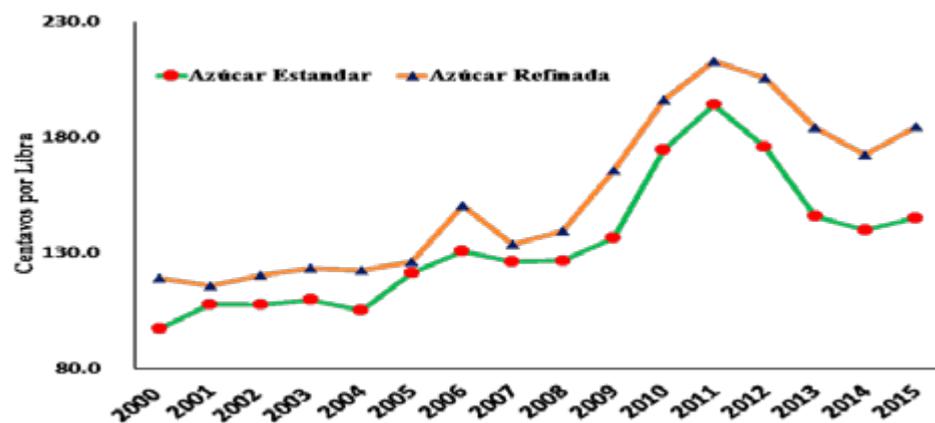
Hasta 2011, como resultado de una menor oferta mundial (producción) y de una menor relación inventarios-consumo, los precios del azúcar en el mercado internacional se habían comportado al alza. Sin embargo, a partir de 2012 el panorama cambió, al superar la producción al consumo, los precios se han desplomado con una TMCA de -5.63 % para azúcar crudo y -2.83 % para azúcar refinada; pasando de 193.9 centavos de dólar por libra en 2011, a 145.1 en 2015, aunque en este último año se registró una ligera recuperación con respecto a 2014; mismo caso presenta el azúcar refinada, pasando de 212.7 a 184.3 centavos de dólar por libra (Tabla 23; Figura 25).

Tabla 23. Relación de precios de venta de azúcar crudo y refinada, 2011 a 2015 (centavos de dólar por libra).

Tipo	Centavos de dólar por libra					TMCA
	2011	2012	2013	2014	2015	
Azúcar crudo	193.9	175.7	145.9	139.8	145.1	-5.63 %
Azúcar refinada	212.7	205.3	184	172.2	184.3	-2.83 %

Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

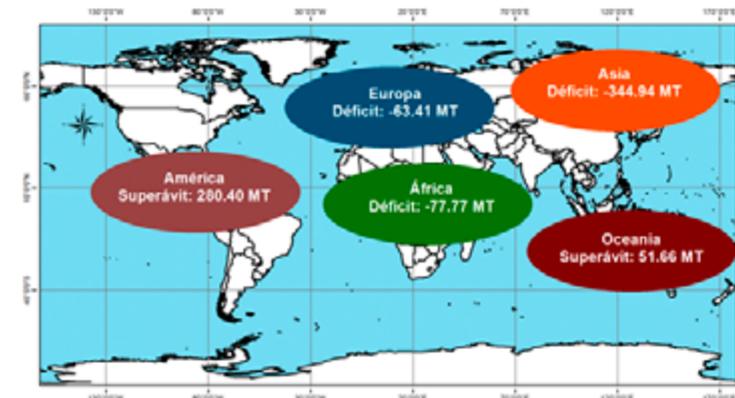
Figura 25. Relación de precios de venta de azúcar crudo y refinada, 2000 a 2015 (centavos de dólar por libra).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

La situación entre la producción y el consumo de azúcar en el mundo puede relacionarse para establecer regiones excedentarias y deficitarias de este producto. Existen cinco regiones consumidoras de azúcar en el mundo. De 2000 a 2015, Asia fue la región que presentó el mayor déficit con 344,940 toneladas de azúcar, por el contrario, América registró un excedente de 280,400 toneladas (Figura 26). Esta situación coloca al mercado asiático como potencial demandante de los excedentes del producto en América, factor que puede mejorar la competitividad de los precios internacionales.

Figura 26. Relación producción-consumo de azúcar por regiones en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

No obstante, las expectativas del precio del azúcar de 2011 a la fecha son a la baja, éstos pueden presentar fluctuaciones para los ciclos futuros en función de los siguientes factores:

1. El impacto desfavorable del cambio climático (sequías, inundaciones, heladas, entre otras) sobre la producción.
2. El desempeño del azúcar con respecto a los precios de otros *commodities* o bienes sustitutos como los edulcorantes de alta intensidad o no calóricos.
3. La implementación de iniciativas nacionales e internacionales en materia de producción de etanol a partir de la caña de azúcar.

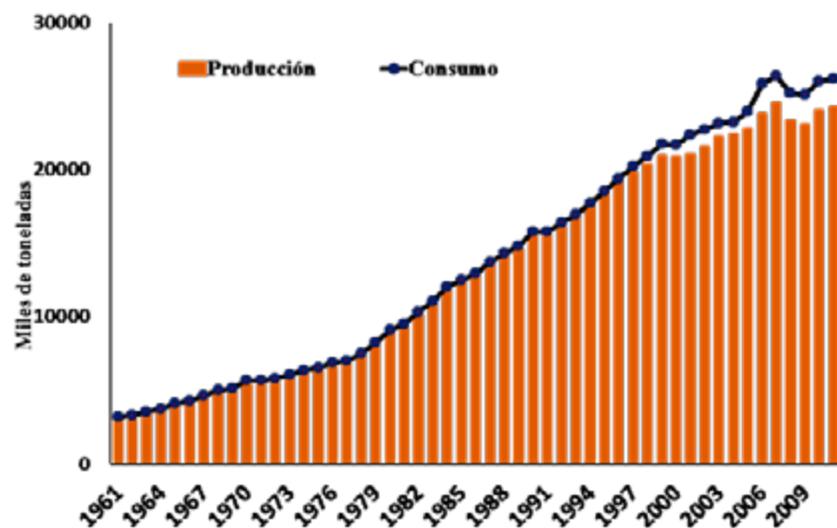
### 2.2.3.2 Otros edulcorantes

Los cambios en los hábitos de consumo, influenciados por la creciente globalización y técnicas de mercadeo orientadas a los sectores *light* y dietéticos, promovidas bajo el eslogan de más saludables y en la mejora de la estética corporal, están provocando que la población mundial demande sustitutos de azúcar. Este esquema de oferta-demanda en una economía abierta, genera puntos de equilibrio para fijar precios, de esta forma el precio de sustitutos de azúcar depende en gran medida de la oferta, demanda y precios directos del azúcar.

De 1997 a la fecha el consumo de edulcorantes diferentes al azúcar ha superado la producción, ocasionando que la demanda sea mayor a la oferta (Figura 27),

y ante la caída de los precios del azúcar a partir de 2011, el precio de los edulcorantes se ha visto favorecido con un incremento, sobre todo en el mercado del JMAF (máximo competidor del azúcar en el mercado), pasando de 21.65 centavos de dólar por libra en 2011, a 26.58 en 2015, lo que significó una TMCA de 4.19 % (Tabla 24; Figura 28).

Figura 27. Comportamiento de la producción y consumo de otros edulcorantes diferentes al azúcar, 1961 a 2011.



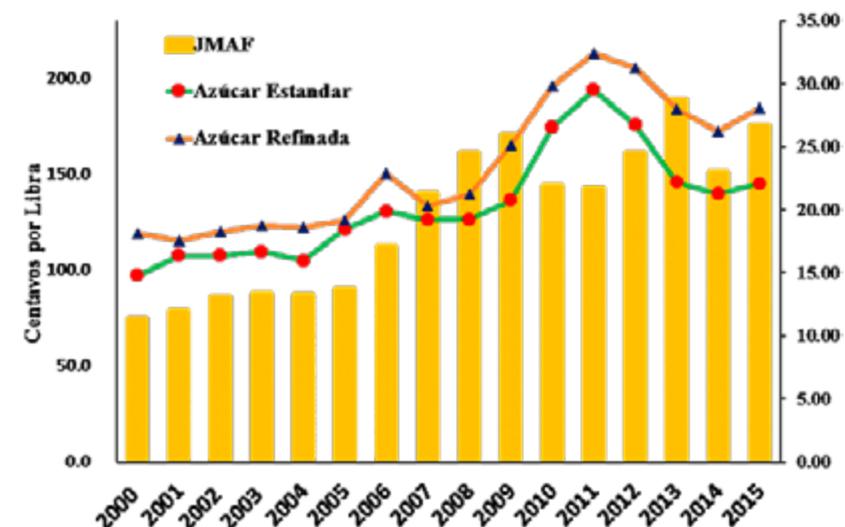
Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

Tabla 24. Relación de precios del azúcar y JMAF de 2011 a 2015 (centavos de dólar por libra).

Tipo	Centavos de dólar por libra					TMCA
	2011	2012	2013	2014	2015	
Azúcar crudo	193.9	175.7	145.9	139.8	145.1	-5.63
Azúcar refinada	212.7	205.3	184	172.2	184.3	-2.83
JMAF	21.65	24.47	28.7	22.8875	26.58	4.19

Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

Figura 28. Relación de precios del azúcar y JMAF, 2000 a 2015 (centavos de dólar por libra).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

## 2.2.4 Comercio

La globalización y libre mercado de productos entre países, no queda exento para el rubro de edulcorantes, cada vez con mayor frecuencia el consumidor tiene acceso en un solo mercado a productos de diferentes países y marcas. Esta diversidad a la hora de elegir, modifica los gustos y preferencias del consumidor, que responde invariablemente al precio. En este sentido, las exportaciones e importaciones juegan un rol crucial para satisfacer las demandas de edulcorantes en las diferentes regiones del mundo.

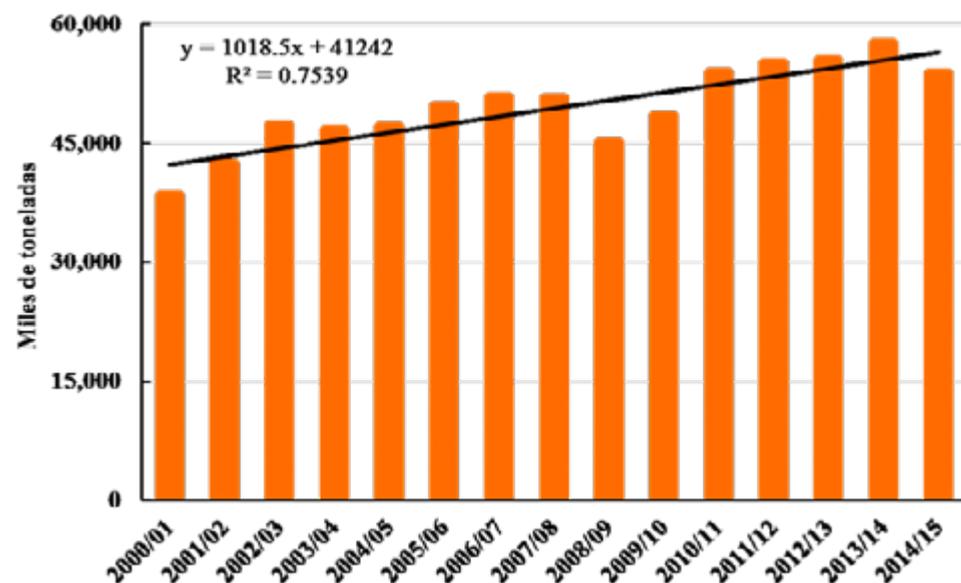
### 2.2.4.1 Exportaciones

#### 2.2.4.1.1 Azúcar: 2000 a 2015

##### 2.2.4.1.1.1 Mundial

La tendencia creciente en las exportaciones de azúcar a nivel mundial, para el período 2000 a 2015, representó un incremento gradual de 1,018,500 toneladas por año (Figura 29). Este comportamiento se debe principalmente a la alta producción obtenida por Brasil.

Figura 29. Tendencias de las exportaciones mundiales de azúcar, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

#### 2.2.4.1.1.2 Regional

El 77 % del azúcar que se comercializa en el mundo proviene principalmente de dos regiones: América (55 %) y Asia (22 %), siendo América el principal exportador con una TMCA de 5.17 % que significa un incremento gradual de 1,301,400 toneladas por año. En contraparte, Europa presenta una TMCA negativa de 7.95 %, que implica que ha dejado de exportar en promedio 462,600 toneladas por año (Tabla 25; Figura 30).

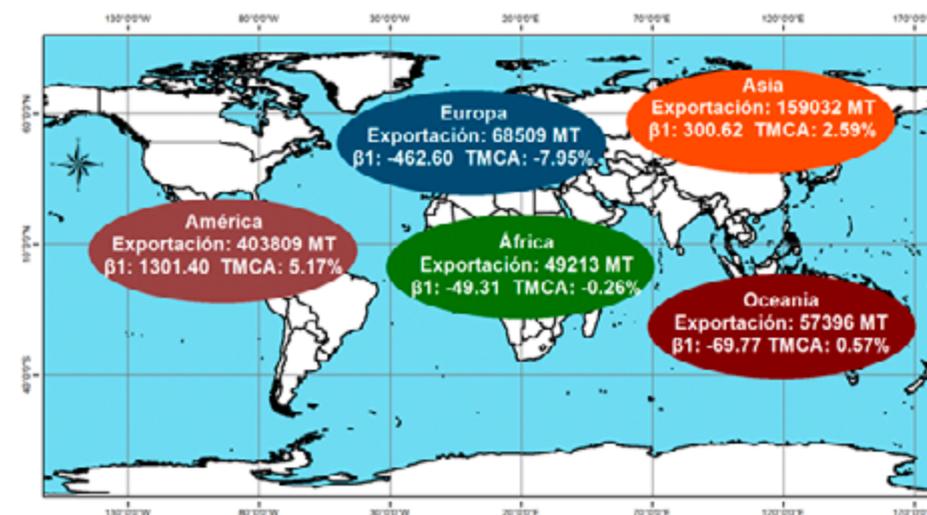
Tabla 25. Exportación mundial de azúcar por regiones, 2000 a 2015 (miles de toneladas).

Región	Centavos de dólar por libra				TMCA	*R <sup>2</sup>
	*β <sub>0</sub>	*β <sub>1</sub>	Total	%		
América	16 509.00	1 301.40	403 809.00	55	5.17	0.93
Europa	8 268.10	-462.60	68 509.00	9	-7.95	0.65
África	3 675.30	-49.31	49 213.00	7	-0.26	0.23
Asia	8 197.20	300.62	159 032.00	22	2.59	0.26
Oceanía	4 384.60	-69.77	57 396.00	8	0.57	0.30

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios. β<sub>0</sub>: ordenada al origen; β<sub>1</sub>: pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R<sup>2</sup>: bondad de ajuste.

Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

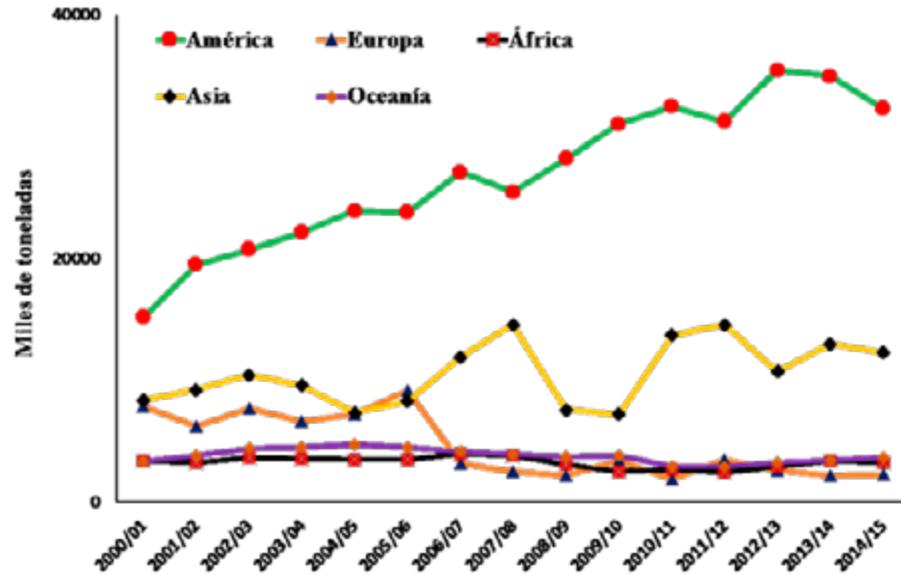
Figura 30. Exportación mundial de azúcar por regiones, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

Las tendencias en exportación mundial sitúan a América como el principal abastecedor de azúcar en el mundo. Sin embargo, en los dos últimos ciclos se presenta una tendencia ligeramente negativa (Figura 31), que obedece a contracciones en la producción de Brasil por problemas de sequía y un mayor porcentaje destinado a la fabricación de etanol.

Figura 31. Tendencias en la exportación mundial de azúcar, 2000 a 2015 por región.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS, USDA (2015).

### 2.2.4.1.1.3 Por países

Brasil, la gran potencia agrícola de América, acapara el 52 % de las exportaciones de azúcar, con una TMCA de 7.87 %, que representa un incremento gradual de 1,235,900 toneladas por año, seguido de Tailandia (14 %) y la Unión Europea (10 %). Sin embargo, esta última, a partir de 2008 ha perdido competitividad en sus exportaciones con una TMCA negativa (-9.97 %), dejando de exportar 458,150 toneladas en promedio por año (Tabla 26; Figura 32). México se ubica como el séptimo exportador de azúcar en el mundo con la TMCA más alta (19.19 %), que representa un incremento gradual de 165,070 toneladas por año, situándolo como el tercer mayor exportador de América, sólo por abajo de Brasil y Guatemala.

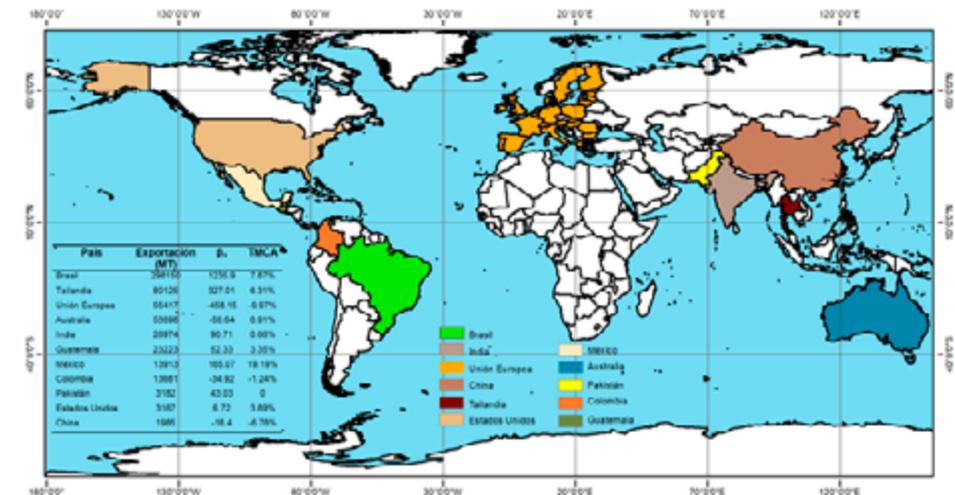
Tabla 26. Principales países exportadores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).

País	Miles de toneladas			%	TMCA	*R <sup>2</sup>
	*β <sub>0</sub>	*β <sub>1</sub>	Total			
Brasil	9 989.5	1 235.9	298 150	52 %	7.87	0.89
Tailandia	2 725.6	327.01	80 125	14 %	6.31	0.66
Unión Europea	7 359.6	-458.15	55 417	10 %	-9.97	0.65
Australia	4 033	-56.64	53 698	9 %	0.91	0.24
India	1 072.6	90.71	26 974	5 %	0.66	0.05
Guatemala	1 129.6	52.33	23 223	4 %	3.35	0.84
México	-393.04	165.07	13 913	2 %	19.19	0.77
Colombia	1 191.4	-34.92	13 681	2 %	-1.24	0.47
Pakistán	-132.07	43.03	3 182	1 %	0	0.39
Estados Unidos	157.39	6.72	3 167	1 %	3.89	0.18
China	263.5	-16.4	1 985	0 %	-6.78	0.36

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios. β<sub>0</sub>: ordenada al origen; β<sub>1</sub>: pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R<sup>2</sup>: bondad de ajuste.

Fuente: elaboración propia con datos de ERS, USDA (2015).

Figura 32. Principales países exportadores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



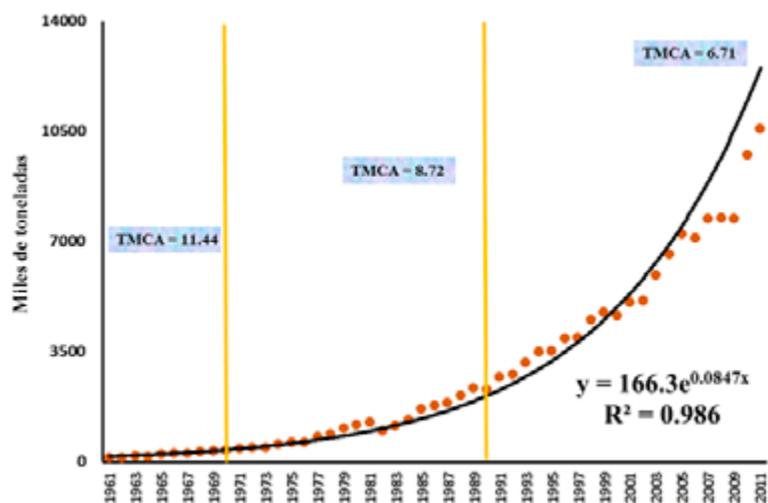
Fuente: elaboración propia con datos de ERS, USDA (2015).

## 2.2.4.1.2 Otros edulcorantes: 2000 a 2013

### 2.2.4.1.2.1 Mundial

El comportamiento de las exportaciones de sustitutos de azúcar a nivel mundial presenta una tendencia creciente exponencial (Figura 33), el flujo comercial entre países cada vez es mayor y el consumidor puede elegir entre una gran gama de variedades, ya sea de edulcorantes directos o productos elaborados a partir de ellos. Entre los edulcorantes con mayor frecuencia se encuentra el JMAF, sucralosa, aspartame, ciclamato, asesulfamo-K y sacarina. La tendencia exponencial de las exportaciones mundiales de sustitutos de azúcar, se ha visto más marcada a partir de la década de los noventa, los nuevos esquemas de comercio entre países como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) entre México, Estados Unidos y Canadá o la Política Agraria Común (PAC) de la Unión Europea, han ocasionado que el flujo de mercancías sea mayor.

Figura 33. Dinámica de exportaciones de edulcorantes diferentes al azúcar, 1960 a 2013 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

A partir de 1991, el nivel de exportaciones de sustitutos de azúcar se ubica en un promedio anual de 5,622,950 toneladas, aunque la TMCA (6.71 %) es muy inferior con respecto al período 1971 a 1990 (8.72 %); en términos absolutos, el incremento es abismal (Tabla 27). A partir de 2007, el flujo de exportaciones supera los 7 millones de toneladas, este hecho sin duda desplaza al mercado directo del azúcar, modificando los gustos y preferencias de los consumidores.

Tabla 27. Dinámica de exportaciones de edulcorantes diferentes al azúcar, 1960 a 2013 (miles de toneladas).

Período	Miles de toneladas		TMCA
	Total	Media anual	
Antes 1970	2474	247.43	11.44 %
1971 a 1990	23 913	1 195.65	8.72 %
1991 a 2013	118 082	5 622.95	6.71 %

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.4.1.2.2 Regional

El principal exportador de sustitutos de azúcar en el mundo es Europa, con el 54 %, que representa un promedio anual de 4,017,330 toneladas; en segundo lugar se encuentra América (28 %), y en el tercer peldaño Asia (17 %). Sin embargo, las TMCA más grandes se encuentran en Asia (21.38 %) y América (9.07 %), lo que implica que en los últimos años estas regiones han incrementado sus exportaciones (Tabla 28). En América, Estados Unidos se erige como el principal socio comercial del mundo, exportando principalmente JMAF; en Asia, China representa la economía emergente que acapara muchos mercados internacionales con sus productos.

Tabla 28. Regiones exportadoras de edulcorantes diferentes al azúcar, 2000 a 2013 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		%	TMCA
	Media anual	Total		
África	65.08	781	1 %	-0.30
América	2 081.58	24 979	28 %	9.07
Asia	1 252.75	15 033	17 %	21.38
Europa	4 017.33	48 208	54 %	4.19
Oceanía	72.25	867	1 %	0.25

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.4.1.2.3 Por países

Estados Unidos de América se erige como el principal exportador de sustitutos de azúcar en el mundo con el (20 %) y lo hace principalmente con JMAF. Le siguen

en orden de importancia, Francia (11 %) y Alemania (8 %) con aspartame, China (5 %) con estevia, siendo este último país el que presenta la TMCA más grande (29.75 %) como resultado de un mayor flujo comercial. Por su parte, México ocupa el décimo puesto, con el 2 % y una TMCA de 4.92 % lo que representa en promedio 118,080 toneladas exportadas por año (Tabla 29), principalmente de JMAF.

Tabla 29. Principales países exportadores de edulcorantes diferentes al azúcar, de 2000 a 2013 (miles de toneladas).

País	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
Estados Unidos de América	1 418.75	17 025	20	11.06
Francia	765.58	9 187	11	-9.99
Alemania	555.67	6 668	8	5.08
China	384.08	4 609	5	29.75
Bélgica	328.50	3 942	5	5.46
Canadá	323.42	3 881	5	2.46
Austria	278.33	3 340	4	11.26
Italia	270.75	3 249	4	4.36
Hungría	119.92	1 439	2	19.26
México	118.08	1 417	2	4.92
Otros	2 545.17	30 542	36	
Total	7 108.25	85 299	100	

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

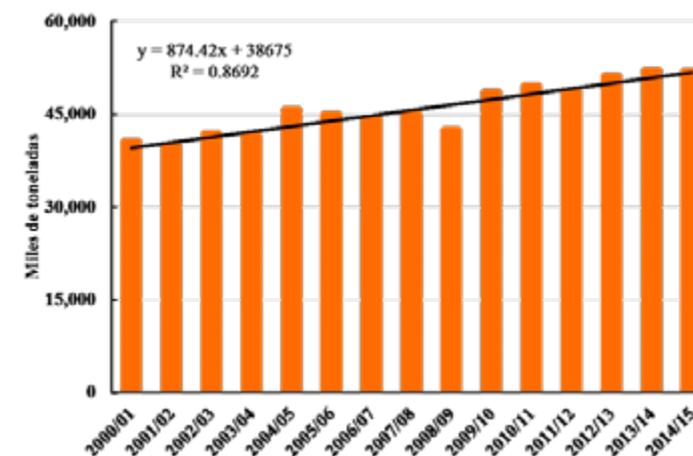
## 2.2.4.2 Importaciones

### 2.2.4.2.1 Azúcar: 2000 a 2015

#### 2.2.4.2.1.1 Mundial

La tendencia creciente en las importaciones de azúcar a nivel mundial, para el período 2000 a 2015, representa un incremento gradual de 874,420 toneladas por año (Figura 34). Este comportamiento se debe principalmente a la demanda de la Unión Europea, Estados Unidos y China.

Figura 34. Tendencias de las importaciones mundiales de azúcar, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

#### 2.2.4.2.1.2 Regional

A nivel regional, el 49 % del azúcar es importado por Asia, le siguen Europa (19 %) y África (18 %). Sin embargo, en los últimos años, Europa presenta una TMCA de -3.68 % lo que implica que ha dejado de importar gradualmente 443,280 toneladas por año. En contraparte, Asia, con una TMCA de 2.78 %, incrementa sus importaciones gradualmente en 765,750 por año, misma situación presenta América que con una TMCA de 3.64 % ha incrementado sus importaciones de manera gradual en 245,770 por año (Tabla 30; Figura 35).

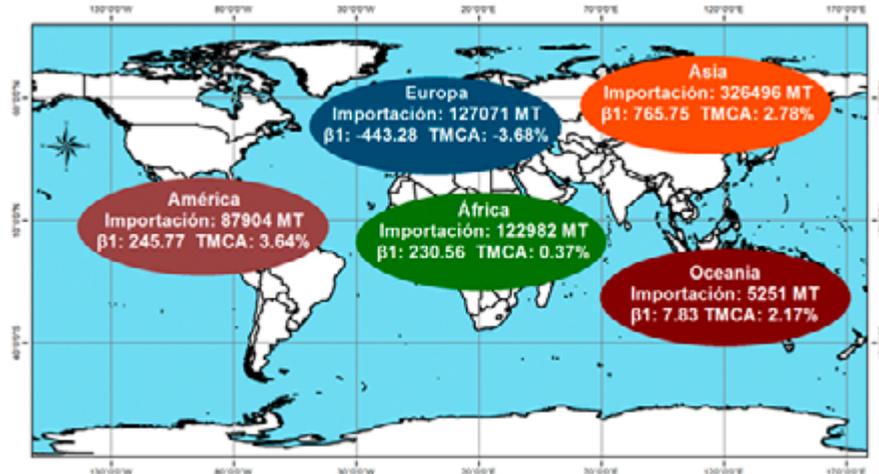
Tabla 30. Importación mundial de azúcar por regiones, 2000 a 2015 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas			%	TMCA	*R²
	*β <sub>0</sub>	*β <sub>1</sub>	Total			
América	3 894.10	245.77	87 904.00	13	3.64	0.76
Europa	12 018.00	-443.28	127 071.00	19	-3.68	0.85
África	6 354.10	230.56	122 982.00	18	0.37	0.44
Asia	15 640.00	765.75	326 496.00	49	2.78	0.89
Oceanía	287.47	7.83	5 251.00	1	2.17	0.53

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios. β<sub>0</sub>: ordenada al origen; β<sub>1</sub>: pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R²: bondad de ajuste.

Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

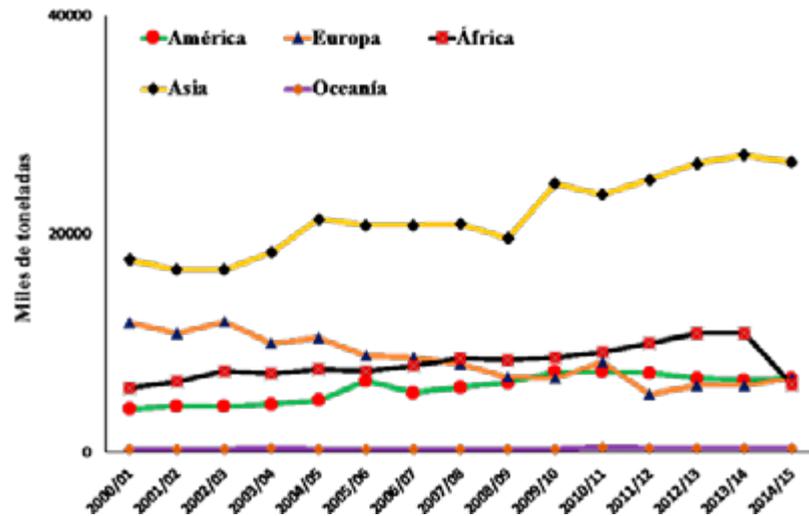
Figura 35. Importación mundial de azúcar por regiones, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

Las tendencias en importación mundial sitúan a Asia como el principal demandante de azúcar. Sin embargo, llama la atención la tendencia negativa que presenta Europa (Figura 36), como resultado de sus políticas de importación, impuestas por la Política Agraria Común (PAC) y por los cambios en sus patrones de consumo.

Figura 36. Tendencias en la importación mundial de azúcar, 2000 a 2015, por región.



Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

### 2.2.4.2.1.3 Por países

De 2000 a 2015, la Unión Europea fue la principal importadora de azúcar en el mundo, con el 36 %; seguida de Estados Unidos (26 %) y China (21 %). México se situó en el sexto lugar, con una TMCA del 11.8 %, lo que significó un incremento gradual en sus importaciones de 15,720 toneladas por año, en su mayoría provenientes de Sudamérica. Por el contrario, Pakistán se destacó por una TMCA negativa (-26.9 %) resultado de una desaceleración gradual en sus importaciones, de 28,930 toneladas por año (Tabla 31; Figura 37).

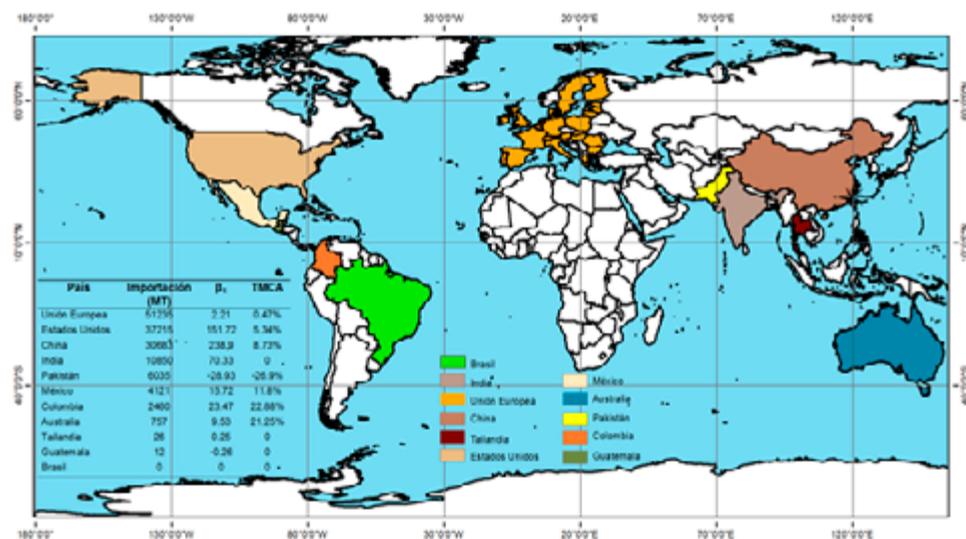
Tabla 31. Principales países importadores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).

País	Miles de toneladas			%	TMCA	*R <sup>2</sup>
	* $\beta_0$	* $\beta_1$	Total			
Unión Europea	3 398	2.21	51 235	36 %	0.47	0.1
Estados Unidos	1 267.2	151.72	37 215	26 %	5.34	0.78
China	134.33	238.9	30 683	21 %	8.73	0.66
India	160.73	70.33	10 850	8 %	0	0.14
Pakistán	633.73	-28.93	6 035	4 %	-26.9	0.06
México	148.99	15.72	4 121	3 %	11.8	0.11
Colombia	-23.77	23.47	2 460	2 %	22.88	0.83
Australia	-25.76	9.53	757	1 %	21.25	0.62
Tailandia	-0.3	0.25	26	0 %	0	0.05
Guatemala	2.86	-0.26	12	0 %	0	0.14
Brasil	0	0	0	0 %	0	0

\*Estimados por mínimos cuadrados ordinarios.  $\beta_0$ : ordenada al origen;  $\beta_1$ : pendiente, indica los cambios graduales en miles de toneladas por año; R<sup>2</sup>: bondad de ajuste.

Fuente: elaboración propia con datos de ERS. USDA (2015).

Figura 37. Principales países importadores de azúcar en el mundo, 2000 a 2015 (miles de toneladas).



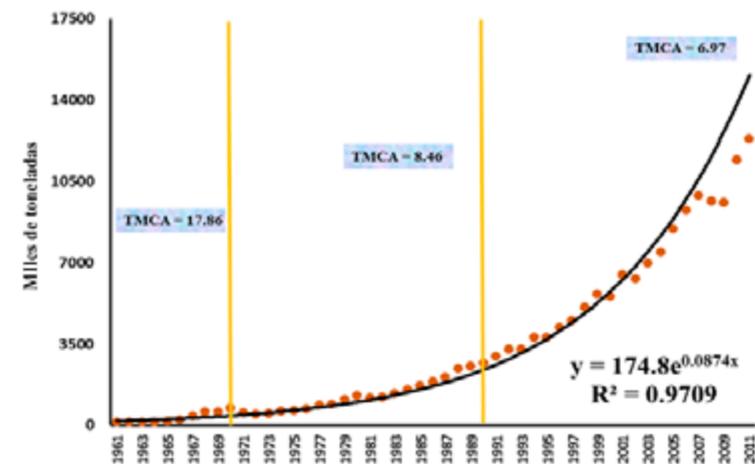
Fuente: elaboración propia con datos de ERS, USDA (2015).

## 2.2.4.1.2 Otros edulcorantes: 2000 a 2013

### 2.2.4.1.2.1 Mundial

Las importaciones de sustitutos de azúcar a nivel mundial presenta también una tendencia creciente exponencial (Figura 38), favorecida por el flujo comercial existente entre países, que cada vez es mayor y el consumidor cuenta con una mayor gama de variedades de edulcorantes directos o productos elaborados a partir de ellos.

Figura 38. Dinámica de importaciones de edulcorantes diferentes al azúcar, de 1960 a 2013 (miles de toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

A partir de 1991, el nivel de importaciones de sustitutos de azúcar se ubica en un promedio anual de 6,659,430 toneladas, aunque la TMCA (6.97 %) es inferior con respecto al período 1971 a 1990 (8.46 %); en términos absolutos el incremento es muy grande (Tabla 32). A partir de 2007, el flujo de importaciones supera los 7 millones de toneladas, este hecho sin duda desplaza al mercado directo del azúcar, modificando los gustos y preferencias de los consumidores.

Tabla 32. Dinámica de importaciones de edulcorantes diferentes al azúcar, 1960 a 2013 (miles de toneladas).

Período	Miles de toneladas		TMCA
	Total	Media anual	
Antes 1970	3 274	327.4	17.86 %
1971 a 1990	26 158	1 307.9	8.46 %
1991 a 2013	139 848	6 659.43	6.97 %

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.4.1.2.2 Regional

El principal importador de sustitutos de azúcar en el mundo a nivel regional es Europa, con el 58 %, que representa un promedio anual de 5,164,080 toneladas; en segundo lugar se encuentra América (26 %), y en el tercer peldaño, Asia (15 %). Sin embargo, las TMCA más grandes de estas regiones se encuentran en Asia (10.03 %) y América (7.72 %), lo que implica que en los últimos años estas regiones han incrementado sus importaciones para después exportar gran parte de ellas, actuando como distribuidores (Tabla 33).

Tabla 33. Regiones importadoras de edulcorantes diferentes al azúcar, 2000 a 2013 (miles de toneladas).

Región	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
África	2.17	37	0	0.01
América	1 991.08	27 836	26	7.72
Asia	1 125.08	15 890	15	10.03
Europa	5 164.08	61 969	58	5.61
Oceanía	146.42	1 757	2	12.68

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.4.1.2.3 Por países

Entre los países, el principal importador de sustitutos de azúcar en el mundo es Alemania, con el 11 %; seguido de México (8 %), Bélgica (7 %), Estados Unidos (6 %) y Francia (6 %). Es de resaltar la TMCA de México, que se sitúa en 14.07 % como resultado de importar anualmente, en promedio, 664,750 toneladas de JMAF, principalmente (Tabla 34) proveniente de Estados Unidos; este hecho llama la atención porque el incremento en las importaciones obedece a cambios en los patrones de consumo de la población mexicana que cada vez más desplaza el mercado del azúcar por sustitutos de ésta, bajos en calorías.

Tabla 34. Principales países importadores de edulcorantes diferentes al azúcar, 2000 a 2013 (miles de toneladas).

País	Miles de toneladas		%	TMCA
	Promedio	Total		
Alemania	929.25	11 151	11	5.87
México	664.75	7 977	8	14.07
Bélgica	617.50	7 410	7	6.19
Estados Unidos de América	555.92	6 671	6	2.49
Francia	548.50	6 582	6	3.24
Canadá	432.25	5 187	5	3.42
Austria	277.25	3 327	3	-2.45
Italia	165.00	1 980	2	2.75
China	98.92	1 187	1	9.26
Hungría	30.92	371	0	17.84
Otros	4 286.83	51 442	50	
Total	8 607.08	103 285	100	

Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

### 2.2.5 Contexto nacional

México se encuentra entre los primeros diez productores y consumidores de azúcar en el mundo. La producción nacional en 2014 fue superior a los 6 millones de toneladas, mientras que el consumo aparente de azúcar fue de 4 millones 138 mil toneladas (CONADESUCA, 2014). La agroindustria que procesa la caña de azúcar en México es de suma importancia; genera 440 mil empleos directos y tiene aportaciones en el PIB (Producto Interno Bruto) manufacturero de 2.1 %, y en el agropecuario de 8.6 %, con un efecto económico en más de 12 millones de personas en 15 entidades federativas y 227 municipios. La producción de caña de azúcar se considera una actividad de interés público y de orden social, por su carácter básico y estratégico para la economía nacional (CNIAA, 2011). Pese a la importancia del sector azucarero en el país, el mercado de los edulcorantes en México está cambiando; la estructura actual del consumo de azúcar y otros edulcorantes, como los jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF) y los edulcorantes bajos en calorías es diferente a la que había hace tres décadas, cuando el azúcar prácticamente no tenía competencia. Ahora los jarabes de maíz y los edulcorantes de alta intensidad, como los que contienen aspartame, sucralosa y ciclamato están desplazando azúcar en un segmento importante de mercado. Esta situación se refleja en, al menos, tres cambios estructurales en el mercado de los edulcorantes:

1. Contracción en el consumo per cápita de azúcar, de 42 kg a 38 kg.
2. El consumo industrial de azúcar se ha reducido de 26 kg per cápita, hasta 22 kg, por la sustitución de azúcar por JMAF. De 2009 a 2015, en promedio se han consumido 1.8 millones de toneladas por año.
3. La participación de los edulcorantes de alta intensidad está ganando espacio en el mercado; se estima que representan alrededor del 4 % del consumo total de edulcorantes.

Esta es la razón por la que en este apartado se realiza el análisis de los edulcorantes en México, presentando su comportamiento en las principales variables como producción, consumo, comercio, precios, política azucarera y aranceles de importación y exportación, vigentes en el país, además de la importancia en la estructura productiva regional y su impacto social.

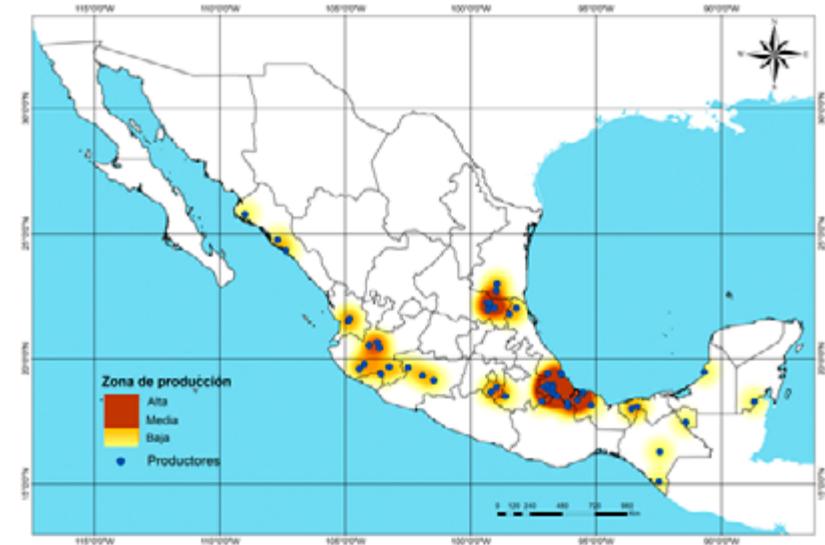
### 2.2.2.1 Producción

#### 2.2.2.1.1 Azúcar

En México, la producción de azúcar de caña se realiza en 54 ingenios\*, distribuidos en 15 estados y 227 municipios del país, en aproximadamente 800 mil hectáreas de cultivo de caña, alcanzando una producción de alrededor de 6 millones de toneladas de azúcar (Figura 39) con un valor cercano a 27 mil millones de pesos. Genera 440 mil empleos directos y tiene un efecto socioeconómico directo en alrededor de 12 millones de personas, con aportaciones en el PIB (Producto Interno Bruto) manufacturero de 2.1 %; en el agropecuario, de 8.6 %, y nacional de 0.35 % (CONADESUCA, 2015).

\*En la zafra 2015-2016 sólo se tenían contabilizados 50 ingenios.

Figura 39. Distribución espacial de los ingenios azucareros en México.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

De 2000 a 2015, sólo 54 ingenios presentaron operación continua, de los 61 que existían en el 2000. De ellos, los principales productores de azúcar fueron San Cristóbal, con el 4.66 %, seguido de Tres Valles (3.99 %) en el estado de Veracruz, Tala (3.73 %), en Jalisco, Atencingo (3.59 %), en Puebla y Pujilic (3.43 %), en Chiapas (Tabla 35; Figura 40).

Tabla 35. Principales ingenios productores de azúcar en México, 2000 a 2015.

Estados	Ingenios	Producción (t)	%
Veracruz	San Cristóbal	3 616 961.63	4.66 %
Veracruz	Tres Valles	3 099 696.10	3.99 %
Jalisco	José Ma. Martínez (Tala)	2 895 375.16	3.73 %
Puebla	Atencingo	2 788 760.90	3.59 %
Chiapas	Pujilic (Cia. La Fe)	2 705 562.82	3.49 %
Veracruz	El Potrero	2 590 065.11	3.34 %
Campeche	La Gloria	2 382 325.03	3.07 %
Oaxaca	Adolfo López Mateos	2 354 419.97	3.03 %
Jalisco	Tamazula	2 341 477.44	3.02 %
Nayarit	Puga	2 236 531.76	2.88 %

Tabla 35. Principales ingenios productores de azúcar en México, 2000 a 2015 (continuación).

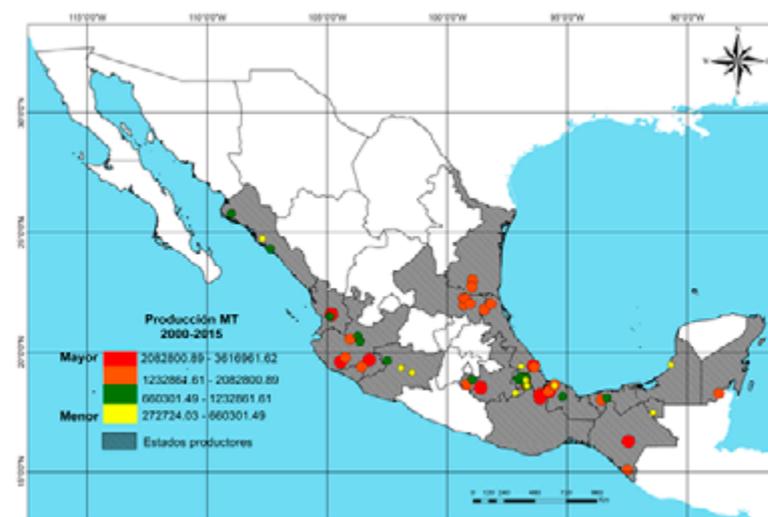
Estados	Ingenios	Producción (t)	%
San Luis Potosí	San Miguel Del Naranjo	2 082 800.90	2.68 %
Quintana Roo	San Rafael de Pucté	2 042 795.60	2.63 %
Veracruz	Central Motzorongo	2 019 239.91	2.60 %
Morelos	Emiliano Zapata	2 012 962.47	2.59 %
Veracruz	El Higo	1 798 185.32	2.32 %
Veracruz	El Modelo	1 737 215.01	2.24 %
Tamaulipas	Aarón Sáenz Garza	1 719 816.05	2.22 %
San Luis Potosí	Alianza Popular	1 664 876.66	2.14 %
Colima	Quesería	1 649 548.81	2.13 %
San Luis Potosí	Plan De San Luis	1 645 951.98	2.12 %
Jalisco	Melchor Ocampo	1 549 326.55	2.00 %
Jalisco	San Francisco Ameca	1 529 146.49	1.97 %
San Luis Potosí	Plan de Ayala	1 494 274.97	1.93 %
Oaxaca	Pablo Machado (La Margarita)	1 448 604.58	1.87 %
Veracruz	Zapoapita - Pánuco	1 445 272.84	1.86 %
Tabasco	Presidente Benito Juárez	1 404 162.42	1.81 %
Chiapas	Huixtla	1 403 268.59	1.81 %
Tamaulipas	El Mante	1 390 120.75	1.79 %
Veracruz	San Pedro	1 361 883.12	1.75 %
Nayarit	El Molino	1 232 861.61	1.59 %
Michoacán	La Providencia	1 197 795.98	1.54 %
Veracruz	Constancia	1 167 806.92	1.50 %
Veracruz	Central Progreso	1 114 343.24	1.44 %
Sinaloa	Los Mochis	1 024 370.79	1.32 %
Veracruz	San Nicolás	1 005 072.89	1.29 %
Michoacán	Santa Clara	955 691.15	1.23 %
Veracruz	El Carmen	897 498.80	1.16 %
Jalisco	José María Morelos	891 998.95	1.15 %
Tabasco	Santa Rosalía	855 163.73	1.10 %
Veracruz	San Miguelito	805 089.02	1.04 %
Morelos	Casasano (La Abeja)	787 296.89	1.01 %
Jalisco	Bellavista	776 106.80	1.00 %
Veracruz	Cuatotolapam	775 659.97	1.00 %
Sinaloa	Eldorado	737 885.95	0.95 %

Tabla 35. Principales ingenios productores de azúcar en México, 2000 a 2015 (continuación).

Estados	Ingenios	Producción (t)	%
Veracruz	Mahuixtlan	660 301.49	0.85 %
Oaxaca	El Refugio	599 782.92	0.77 %
Veracruz	Nuevo San Francisco (El Naranjal)	577 869.08	0.74 %
Sinaloa	La Joya	577 497.81	0.74 %
Michoacán	Pedernales	556 119.67	0.72 %
Veracruz	La Primavera	534 345.06	0.69 %
Veracruz	Lázaro Cárdenas	510 639.42	0.66 %
Veracruz	San Gabriel	386 241.09	0.50 %
Puebla	Calipam	307 554.13	0.40 %
Tabasco	Azsuremex - Tenosique	272 724.04	0.35 %
Total		77 618 346.32	100 %

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 40. Principales ingenios productores de azúcar en México, 2000 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Estos ingenios están distribuidos en los estados de Campeche (1 ingenio; 1 % de superficie sembrada), Chiapas (2; 4 %), Colima (1; 2 %), Jalisco (6; 10 %), Michoacán (3; 2 %), Morelos (2; 2 %), Nayarit (2; 4 %), Oaxaca (3; 6 %), Puebla (2; 2 %),

Quintana Roo (1; 3 %), San Luis Potosí (4; 11 %), Sinaloa (3; 3 %), Tabasco (3; 4 %), Tamaulipas (2; 4 %) y Veracruz (19; 40 %). Esta distribución de ingenios y superficie sembrada está correlacionada directamente con la producción de azúcar, de tal forma que Veracruz es el principal productor, con el 38.08 %; seguido de Jalisco (12.58 %), San Luis Potosí (8.68 %), Oaxaca (5.60 %) y Chiapas (5.18 %) (Tabla 36).

Tabla 36. Principales estados productores de azúcar en México, 2000 a 2015.

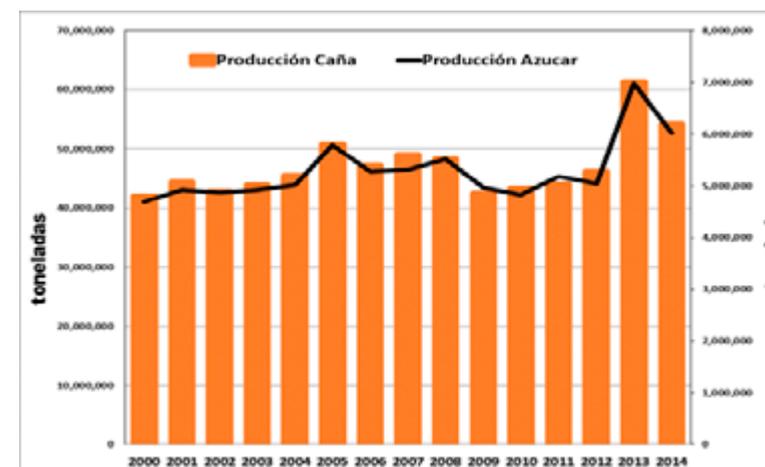
Estados	Producción (t)	%
Veracruz	30 224 419	38.08 %
Jalisco	9 983 934	12.58 %
San Luis Potosí	6 888 213	8.68 %
Oaxaca	4 446 781	5.60 %
Chiapas	4 108 985	5.18 %
Nayarit	3 469 560	4.37 %
Tamaulipas	3 110 089	3.92 %
Puebla	3 096 474	3.90 %
Morelos	2 800 420	3.53 %
Tabasco	2 545 422	3.21 %
Sinaloa	2 296 851	2.89 %
Michoacán	2 131 893	2.69 %
Quintana Roo	2 042 866	2.57 %
Colima	1 649 633	2.08 %
Campeche	5 775 69	0.73 %
<b>Total</b>	<b>77 618 346.32</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

De forma tradicional, la caña de azúcar se utiliza principalmente como materia prima para la extracción de azúcar. De 2000 a 2014, esta producción ha mostrado un incremento gradual anual de 76,654 toneladas de azúcar en promedio, pasando de 4,696,035 a 6,021,292 toneladas, con récord histórico en 2013, de 6,974,799 tonela-

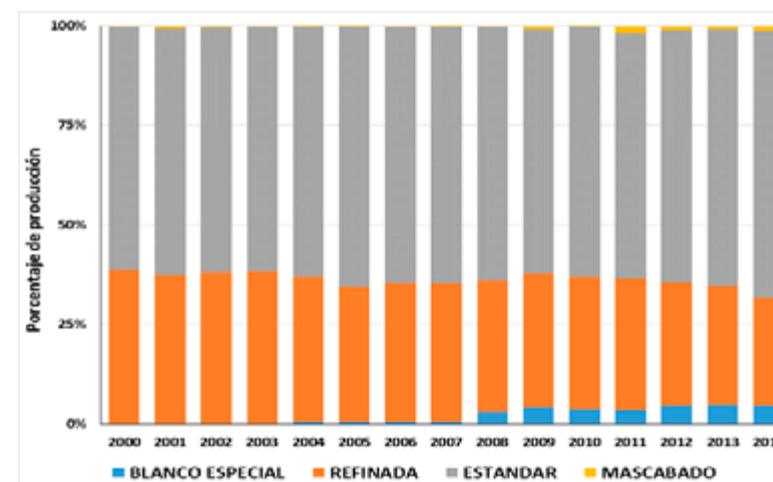
das, como respuesta al incremento de la producción de caña de azúcar, que obedece a un sistema extensivo (Figura 41). Los principales tipos de azúcar producidos en el país son blanco especial (2 %), refinada (34 %), crudo (63 %) y mascabado (1 %) (Figura 42).

Figura 41. Comportamiento de la producción de azúcar y su relación con la producción de caña de azúcar, 2000 a 2014.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 42. Tipos de azúcar producidos en México, 2000 a 2014.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

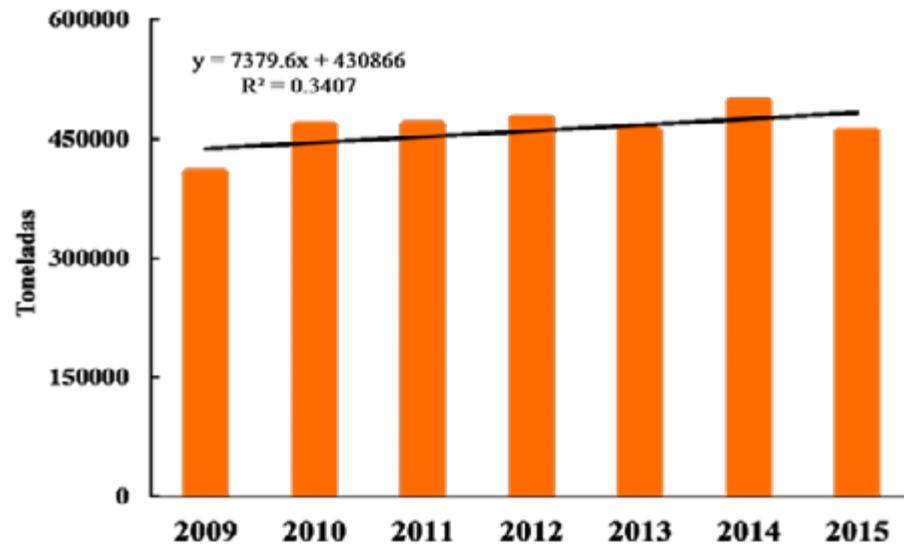
### 2.2.2.1.2 Otros edulcorantes

En la actualidad es difícil tener un control exacto sobre los inventarios de producción de sustitutos de azúcar en México, debido principalmente a que se utilizan en combinaciones no explícitas en los productos de consumo. Además de JMAF, también existen empresas dedicadas a la producción principalmente de sucralosa, ciclamato y asesulfame-k. Sin embargo, el principal sustituto del azúcar en nuestro país es el JMAF.

#### 2.2.2.1.2.1 Jarabe de maíz de alta fructuosa

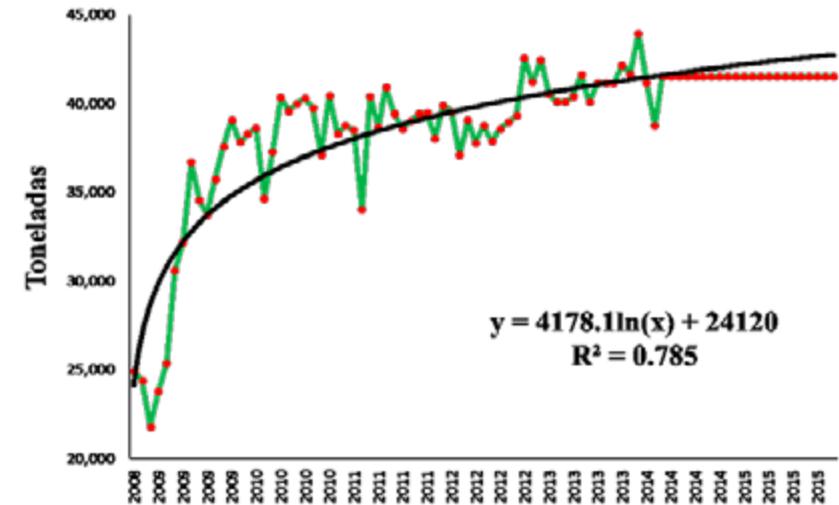
De acuerdo con el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA, 2015), la producción de JMAF, de 2009 a 2015, presenta una TMCA de 1.72 %, lo que significa un incremento gradual de 7,379 toneladas por año. Desde hace más de cinco años México supera la barrera de las 400,000 toneladas de JMAF producidas por año (Figura 43). El análisis mensual del incremento gradual en las producciones de JMAF muestra una tendencia logarítmica, pasando de 24,956 toneladas en octubre de 2008, a 41,568 en el mismo mes de 2015 (Figura 44).

Figura 43. Comportamiento de la producción de JMAF, 2009 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 44. Comportamiento de la producción mensual de JMAF, 2009 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Las principales empresas productoras de JMAF en México se localizan en dos estados estratégicos: Jalisco y Querétaro, con amplia repercusión comercial por sus vías de comunicación y canales de distribución; en Guadalajara, Jalisco se encuentra la empresa Almidones Mexicanos, SA de CV con productos derivados de maíz: almidón, glucosa, dextrosa, HFCC-42 y HFCC-55. En San Juan del Río, Querétaro se encuentra Arancia Corn Products SA de CV con HFCC-42 y HFCC-55.

Los incrementos en la producción de sustitutos de azúcar obedece a cambios estructurales que el mercado de los edulcorantes en nuestro país está experimentando, la tendencia a los productos light y sanos está desplazando al azúcar de segmentos de mercado donde hasta hace 20 años era insustituible. Sin embargo, es recomendable tener mesura en su consumo, al no tener claramente identificados los problemas de salud que la sustitución de azúcar por otros edulcorantes, sobre todo no calóricos, produce en el organismo.

### 2.2.2.2 Consumo

#### 2.2.2.2.1 Azúcar

A pesar de que la producción de azúcar se ha incrementado, el consumo per cápita se ha contraído, pasando de valores cercanos a 48 kg a poco más de 35 kg, aun así, el consumo de azúcar en los hogares (directo) se mantiene alrededor de 21 kg por persona (García *et al.*, 2012). En México, el azúcar es empleado principalmente por la industria

de refrescos embotellados (55 %), panificadora y galletas (12 %), dulces y chocolates (9 %), el restante 24 % se distribuye entre la fabricación de lácteos, bebidas alcohólicas y alimentos procesados principalmente. En la Figura 45 y Tabla 37 se muestra la distribución espacial de las principales empresas que demandan este edulcorante por tipo de industria (sin embargo los productos no son endulzados en su totalidad con azúcar y se encuentran combinados con otros edulcorantes). El mayor demandante de azúcar es el grupo Coca Cola, quien tiene convenio de compra directa con los ingenios.

Figura 45. Distribución espacial de las principales empresas demandantes de azúcar en México, por tipo de industria.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 37. Principales empresas demandantes de azúcar en México por tipo de industria.

Tipo de producto	Empresas
Alimentos	Mead Johnson Nutrition, Nestlé, Novamex, Similac, Unilever, Al Azúcar, Alpura, Alpura, Aurrera, Barcel, Bimbo, Bimbo, Canderel, Cuetara, Cuétara, Danone, Don Agustín, Equal, Gamesa, Gamesa-Quaker, Golden Hills, Great Value, Grupo Vida, Healty By Nature, Ibarra, Incauca, Karo, Ke Precio, Kraft, La Moderna, Lala, Lara, Marinela, Metco, Mettler, Mondelez, Nestlé, Novag, Nutresa, Promesa, Quala, Ricolino, Sabritas, San Isidro, San Marcos, Sayes, Senke, Suandy, Sucrasweet, Super Life Plus, Sweeny, Technisearch, Terrafertil, Tia Rosa, Voortman, Wyeth, Zukara
Bebidas	Nestlé, Unilever, Alpura, Arbor Mist Winery, Bar Royal, Chocolate Ideal, Coca-Cola, Jarrito, La Rioja Alta, Lcbo, Logos, Mondelez, Muga, Pascual, Peña-fiel, Pepsico, Quala, Red Bull, Sibau, Smirnoff, Torres, Tresmontes-Lucchetti, Vinicola L.A. Cetto, Viña Real
Confitería y otros	Adam's, Arcor, Coronado, De La Rosa, Ferrero, Hershey's, La Moderna, Lucas, Mars, Matre, Montés, Nestlé, Nutresa, Perffetti Van Melle Benelux, Ricolino, Sonric's, Sweetwell, Turin, Vero, Nestlé, Great Value, Hershey's, La Corona, Matre, Mondelez, Sonric's
Medicamentos	Andromaco, Bago, Bayer, Biosano, Drugtech-Recalcine, Glaxosmithkline, If Labomed Farmaceutica Ltda, Janssen-Cilag, Medipharma Ltda, Pharma Investi, Recalcine, Royal Pharma, Sanitas, Sanofi-Aventis, Saval, Synthon Chile, Tecnofarma

Fuente: elaboración propia.

La mayor parte de la distribución de azúcar (refinada y crudo) para consumo doméstico se realiza a través de las centrales de abasto existentes en el país. En la Figura 46 se muestra la concentración de las centrales de abasto más importantes, destacando tres regiones prioritarias: Aguascalientes, Distrito Federal y Monterrey. De estas centrales de abasto se surten infinidad de misceláneas donde el consumidor final tiene acceso al producto.

Figura 46. Distribución espacial de las centrales de abasto que surten azúcar refinada y crudo en México.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

La alternativa más común para llegar al consumidor final es por medio de productos terminados; al respecto las principales cadenas comerciales en el país son Aurrerá (286 sucursales), Chedraui (208), Comercial Mexicana (62), Sam's (127), Soriana (219), Superama (84) y Walmart (158), donde la población encuentra diversos productos de alimentos, bebidas, confitería y medicamentos endulzados con azúcar, otros edulcorantes o combinaciones de éstos, además de endulzantes directos como la estevia, esplenda (sucralosa) y canderel (sucralosa) que compiten con el mercado del azúcar (Figura 47).

Figura 47. Distribución espacial de las principales cadenas comerciales que distribuyen productos endulzados con azúcar u otros sustitutos.



Fuente: elaboración propia.

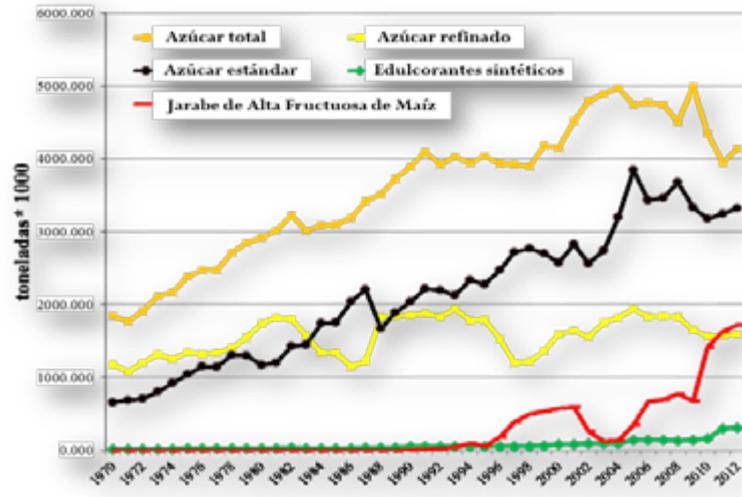
#### 2.2.2.2.2 Otros edulcorantes

En México, el consumo de sustitutos de azúcar diferentes al JMAF ha cobrado relevancia en los últimos años, ahora es más común que productos de consumo humano como bebidas y alimentos estén hechos a base de aspartame, sucralosa, acesulfame-k, sacarina y ciclamato, edulcorantes artificiales no calóricos que van ganando el mercado, que hasta hace tres décadas era absoluto para el azúcar. Sin embargo, a pesar de tener conocimiento de su consumo, las cifras oficiales no son exactas y normalmente se etiquetan como otros edulcorantes, de tal forma que sólo se reportan azúcar, JMAF y otros edulcorantes.

##### 2.2.2.2.2.1 Jarabe de maíz de alta fructuosa

Hasta antes de la entrada de JMAF con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte en 1994, el consumo industrial de azúcar se había incrementado en un máximo de 26 kg per cápita; para 2014 se ubicó en 10 kg. El consumo de JMAF ha crecido de manera exponencial; en 2012 representó 33 % del mercado de edulcorantes calóricos. Estas contracciones en el consumo de azúcar se explican porque el mercado de los edulcorantes en México está cambiando (Figura 48), al pasar de una ausencia total de competencia a una gran oferta de distintos edulcorantes acompañados de una fuerte publicidad que ha modificado la estructura de consumo.

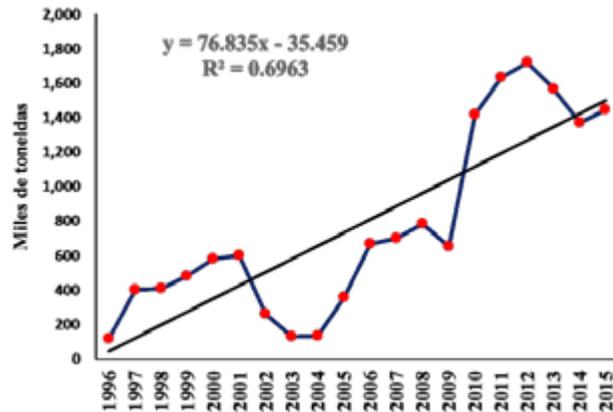
Figura 48. Tendencias del consumo de azúcar, JMAF y otros edulcorantes en México.



Fuente: elaboración propia.

El consumo de JMAF ha crecido de manera exponencial en los últimos seis años, en 2014 representó 27 % del mercado de edulcorantes calóricos. La diversificación del mercado de los edulcorantes se refleja en la contracción del consumo per cápita de azúcar, el aumento del consumo de JMAF y de edulcorantes bajos en calorías. Las tendencias para 2014 muestran un incremento en el consumo de los sustitutos del azúcar (Figura 49).

Figura 49. Tendencias del consumo JMAF en México, 1996 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015).

El consumo de JMAF se ha dado principalmente como sustituto del azúcar en bebidas embotelladas, en función del precio del azúcar y JMAF, las empresas refresqueras utilizan una proporción de 40 % y 60 %.

Las principales empresas que importan y producen sustitutos de azúcar en México se muestran en la Tabla 38, donde también se presenta la relación de productos. Llama la atención que cada vez con más frecuencia aparecen en el mercado nacional un mayor número de empresas que importan y/o producen sustitutos de azúcar. El consumidor final está íntimamente relacionado con este tipo de productos y muchos de ellos desconocen que lo que en realidad consumen corresponden a sustitutos de azúcar.

Tabla 38. Principales empresas productoras e importadoras de sustitutos de azúcar en México por tipo de industria.

Empresa	País	Importador	Sucursales en México	Productos
Garcomex	México		Calz. De Tlalpan 965, Niños Héroes, 03440 Benito Juárez, D.F.	Similar, Nutra Light, Nutra Light Estevia, Santa Fe
			Calle Morelos 1170, 44160 Guadalajara, Jal	
			Av. San Rafael 506, Ángel Martínez Villarreal, 67110 Guadalupe, N.L	
			Álvaro Obregón 120 San Pedro Garza García N.L. Cp. 66250	
Metco	México		Av. Tecamachalco 161, Delegación Miguel Hidalgo, Col. Reforma Social, Reforma Soc, 11650 Ciudad de México, D.F	Svetia, Diabe Sugar, Sweeto, Azúcar Bc+Estevia, Azúcar Bc+Mazcabado, Mas Dulce, Más Buena
Merisant Company	EUA	Merisant México	Pasaje Interlomas #16, Oficina 202.	Canderel® Estevia, Canderel® Clásico, Canderel® Sucralosa
		Centro Distribuidor S.A	Ruta 5, 1-40 Zona 4	Equal Sucralosa, Equal Estevia, Equal Granular, Equal Tabletas
Walmart Stores	EUA	Nueva Walmart México	Av. Nextengo No. 78, Col. Santa Cruz Acahucan 2770 México D.F (Distrito Federal)	Great Value, Great Value Estevia, Mayamel Miel De Agave Azul, Jarabe Sabor Maple
Terraferil	México	Terraferil México	Av. Independencia No. 2334, Centro, 80000 Culiacán Rosales, Sin.	Sweet Estevia, Sweet Y Fiber Estevia
	Costa Rica	Ciameza		
	Salvador	Diszasa		
	Colombia	Terraferil Colombia		

Empresa	País	Importador	Sucursales en México	Productos
	Panamá	H. Tzanetatos		
	Perú	Terrafertil Perú		
	Ecuador	Terrafertil Ecuador		
	Guatemala	Terrafertil Guatemala		
Productos Mexicanos	México		Arturo Martínez Calzado 202, Industrial Marfer, 66367 N.L.	Promesa Jarabe Maple, Promesa Jarabe Maple Light, Promesa Jarabe Vainilla, Promesa Jarabe Chocolate, Promesa Jarabe Mantequilla
Ach Foods Company	Reino Unido	Ach Foods México	Prol. Paseo De La Reforma 1015 Torre A Piso 14, Álvaro Obregón, Sta. Fé, 01376 Ciudad De México.	Karo, Karo Ligerita, Karo Bebe, Karo Light, Karo Vainilla
Salutare	México		Homero 203, Col. Chapultepec Morales, Ciudad de México. C.P. 11570	Total Sweet
Continental de Alimentos	Guatemala		3a. Calle 16 56 Zona 1. Guatemala, Ca.	Sucra Sweet
Sukara	México		Col. Vertiz Navarrete 03600 Ciudad de México	Stevien
Comercial Mexicana	México		Carretera Puente De Vigas Km 14.5 Col. Lechería Tultitlán, Estado de México	JMAF
Bimbo	México		Mimosas No. 117 Col. Santa Maria Insurgentes, delegacion Cuauhtémoc Ciudad de México. Cp. 06430	JMAF
Cargill Corn Milling	EUA	Cargill Corn Milling México	Prolongación Reforma 1015, Paseo de las Lomas, 01000 Ciudad de México	Fructosa, Maltitol, Estevia, Glucosamina, Acidulantes, Glucosa, Eritritol, Azúcar
Tate And Lyle	EUA		Calle 26 2756, colonia Industrial, 44490 Guadalajara, Jal.	JMAF
Nabisco	EUA	Mondelez	Henry Ford 120, Bondonjito, 07850 Ciudad de México.	JMAF
Niusweet	EUA		Ciudad de México Montecito #38 Piso 28 Oficina 12. Col. Nápoles C.P. 03810 Ciudad de México.	JMAF

Fuente: elaboración propia.

## 2.2.2.3 Comercio

### 2.2.2.3.1 Importaciones

#### 2.2.2.3.1.1 Azúcar

En los años recientes, se ha reducido el volumen de importación de azúcar (TMCA = -4.4 %), al igual que el consumo (TMCA = -1.68 %), lo que aparentemente ofrece un panorama benévolo para los productores de caña de azúcar del país; el volumen de producción ha logrado satisfacer aún la demanda interna de consumo nacional, sin embargo, por diferentes circunstancias, dicho volumen empieza a decaer en los últimos tres años (Tabla 39 y Figura 50).

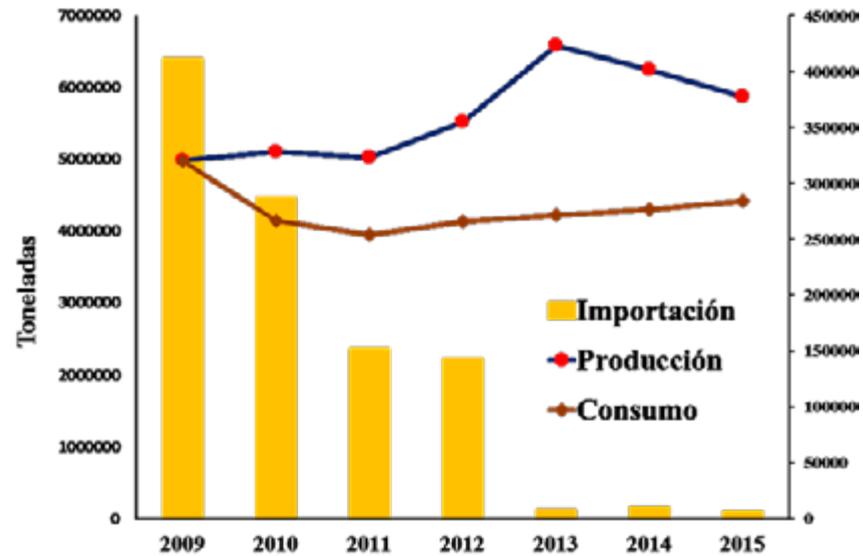
La alta dependencia en la transformación de la materia prima en azúcar, la entrada de edulcorantes y el descenso de la producción, mayor al incremento del consumo interno podría suponer un escenario de riesgo para los productores, pues obligaría a la importación de producto y reduciría la rentabilidad del cultivo. Esto último podría conducir al abandono o cambio de la actividad por cultivos de competencia. En 2013 se alcanzó un pico de producción de 6,578,595 toneladas, alentado por el alza de precios ocurrido en 2008, que condujo al incremento de áreas de producción (Tabla 39 y Figura 50).

Tabla 39. Volúmenes de producción, consumo e importación de azúcar en México, 2009 a 2015 (toneladas).

Ciclo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TMCA
Producción	4 987 279	5 107 724	5 024 550	5 516 112	6 578 595	6 242 017	5 875 964	2.37
Consumo	4 971 427	4 147 562	3 947 823	4 127 446	4 222 086	4 299 654	4 424 304	-1.68
Importación	411 124	286 928	151 279	141 981	6 906	9 866	5 932	-4.54

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 50. Tendencias en la producción, consumo e importación de azúcar en México, 2009 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015)

### 2.2.2.3.1.2 JMAF

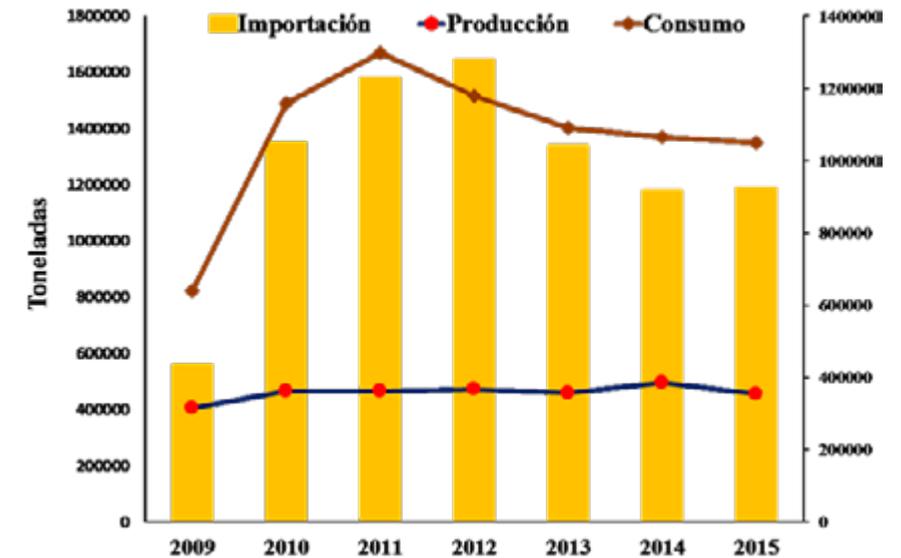
La relación existente entre los volúmenes de importación, producción y consumo de JMAF es directa, con el incremento en el consumo de este edulcorante (TMCA = 7.32 %), aumentó el volumen de importación en el período 2009–2012. A partir de 2011, el consumo se reduce, lo que coincide con el ligero incremento en el consumo de azúcar. Aun con la reducción del consumo, los volúmenes de producción de JMAF no logran satisfacer la demanda, por lo que la importación a pesar de reducirse en 2011-2012, se mantiene estable en 2014 y 2015. El mayor salto en el volumen de importación, así como del consumo nacional, ocurrió en el período 2009-2010, con un aumento de más del 100 % del volumen importado, situación originada por el aumento en la demanda interna del edulcorante (Tabla 40 y Figura 51). Sin embargo, las empresas que producen JMAF en México no han incrementado significativamente su volumen, debido probablemente al principal uso del maíz en nuestro país.

Tabla 40. Volúmenes de producción, Consumo e importación de JMAF en México, 2009 a 2015.

Ciclo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TMCA
Producción	405 762	465 443	466 704	473 417	458 466	495 647	457 248	1.72 %
Consumo	823 977	1 490 468	1 668 269	1 515 002	1 402 586	1 371 201	1 350 764	7.32 %
Importación	432 776	1 046 825	1 225 099	1 278 438	1 040 369	913 909	923 645	11.44 %

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 51. Tendencias en la producción, consumo e importación de JMAF en México, 2009 a 2015 (toneladas).



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

### 2.2.2.3.2 Exportaciones

#### 2.2.2.3.2.1 Azúcar

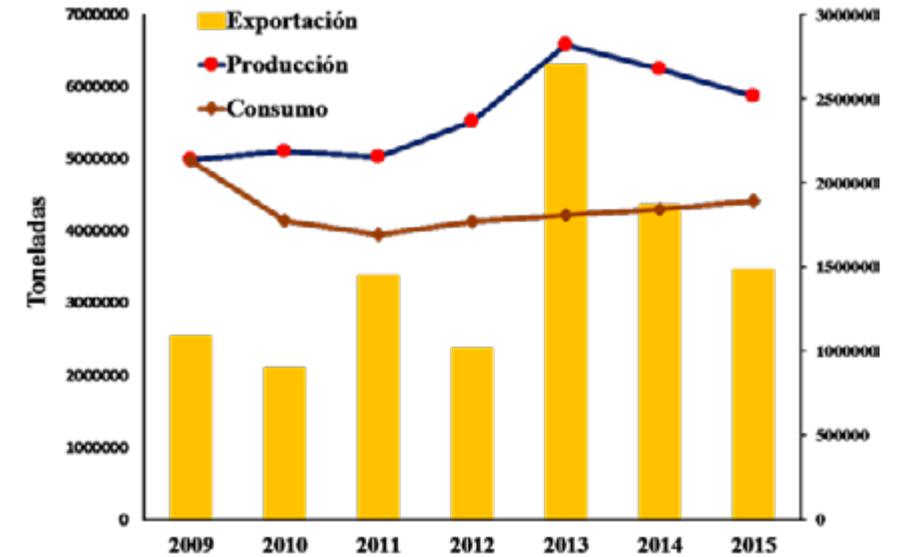
Dado que la demanda de consumo nacional se logra cubrir con el volumen de producción obtenido, existe un margen de exportación que alcanzó su valor máximo dentro del período 2009-2015, en el ciclo 2013 (TMCA = 4.55 %). A partir de ahí los rendimientos declinaron y, con ello, el volumen de producción de azúcar nacional, reflejándose directamente en una reducción de cerca de 50 % del volumen de exportación en el año 2015, respecto del año 2013. Se observa una inestabilidad en el volumen de exportación favorecida por los márgenes existentes entre el consumo y el volumen de producción (Tabla 41 y Figura 52).

Tabla 41. Volúmenes de producción, consumo y exportación de azúcar en México, 2009 a 2015.

Ciclo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TMCA
Producción	4 987 279	5 107 724	5 024 550	5 516 112	6 578 595	6 242 017	5 875 964	2.37
Consumo	4 971 427	4 147 562	3 947 823	4 127 446	4 222 086	4 299 654	4 424 304	-1.65
Exportación	1 082 851	891 370	1 440 648	1 011 981	2 696 486	1 867 238	1 479 380	4.55

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 52. Tendencias en la producción, consumo y exportación de azúcar en México, 2009 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

#### 2.2.2.3.2.2 JMAF

El volumen de exportación de JMAF creció con una TMCA de 10.95 %, pese a no cubrir el consumo local que también ha crecido en 7.32 %, oferta volúmenes a mercados internacionales que han ido en aumento en casi tres veces del año de referencia (2009) hasta el año 2014 (Tabla 42). En el último año se experimentó un ligero decremento ocasionado, por una reducción en el volumen de producción (Figura 53). Desde 2009 hasta 2011, el volumen de consumo experimentó un alza, que coincide con los volúmenes de importación. Lo que llama la atención es que el volumen de exportación se incrementó y el volumen de producción se mantuvo constante.

Tabla 42. Volúmenes de producción, consumo y exportación de JMAF en México, 2009 a 2015 (toneladas).

Ciclo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TMCA
Producción	405 762	465 443	466 704	473 417	458 466	495 647	457 248	1.72 %
Consumo	823 977	1 490 468	1 668 269	1 515 002	1 402 586	1 371 201	1 350 764	7.32 %
Exportación	14 561	21 799	23 535	26 822	33 490	38 357	30 136	10.95 %

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 53. Tendencias en la producción, consumo y exportación de JMAF en México, 2009 a 2015.



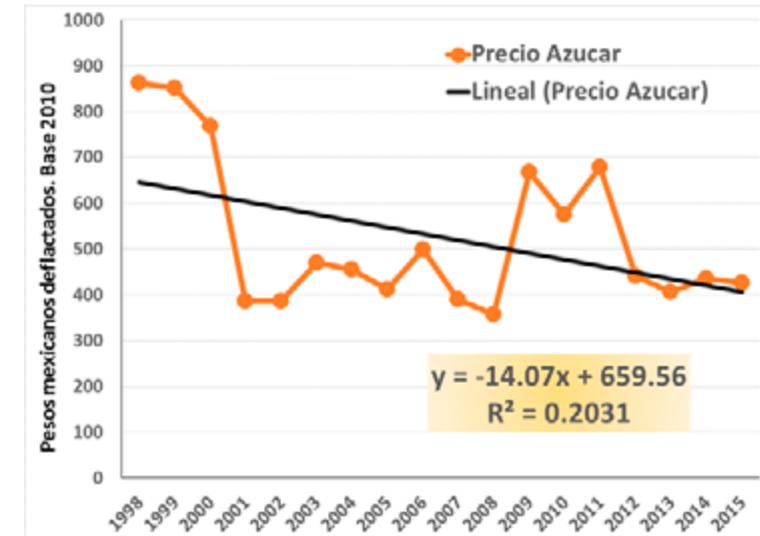
Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

#### 2.2.2.4 Precios

La serie de 1998 a 2015, de los precios promedio de un bulto de azúcar de 50 kg a lo largo del año, muestra una tendencia lineal en descenso. Este hecho ha sido documentado por Aguilar (2010), quien resalta que en los últimos años los productores de azúcar nacional han resentido la huella de numerosos factores que amenazan su competitividad como actividad económica, como por ejemplo: la caída de la productividad (campo y fábrica), de los precios internacionales del azúcar, la disminución del

consumo interno por la sustitución de sacarosa por jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF) y edulcorantes no calóricos y la inestabilidad de los precios del petróleo, entre muchos otros (Figura 54).

Figura 54. Comportamiento de los precios promedio de un bulto de azúcar de 50 kg. Deflactados a precios reales base 2010.



Fuente: elaboración propia.

La contracción en el consumo de azúcar (TMCA = -1.65 %), una mayor producción de este edulcorante ((TMCA = 2.37 %) (Tabla 43), aunado a un incremento de 7.32 % en el consumo de JMAF (Tabla 44) como el principal sustituto de azúcar en el país, ha ocasionado una mayor competencia por el mercado de consumo, especialmente el industrial, lo que se refleja en el incremento de la sensibilidad de los precios ante las variaciones de las cantidades consumidas de ambos edulcorantes en el mercado interno (Figura 55).

Tabla 43. Balance nacional de azúcar de 2009 a 2015.

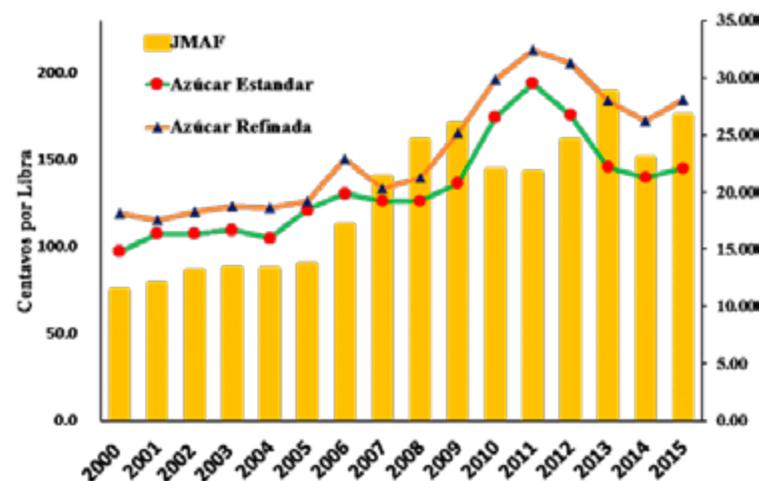
Ciclo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TMCA
Producción	4 987 279	5 107 724	5 024 550	5 516 112	6 578 595	6 242 017	5 875 964	2.37 %
Importación	411 124	286 928	151 279	141 981	6 906	9 866	5 932	-45.42 %
Exportación	1 082 851	891 370	1 440 648	1 011 981	2 696 486	1 867 238	1 479 380	4.56 %
Consumo	4 971 427	4 147 562	3 947 823	4 127 446	4 222 086	4 299 654	4 424 304	-1.65 %
Oferta	22 852 668	21 908 770	21 799 567	23 140 661	31 632 775	22 830 298	23 558 510	0.44 %
Demanda	6 054 278	5 038 932	5 388 470	5 139 425	6 918 573	6 197 973	6 041 551	-0.03 %

Tabla 44. Balance nacional de JMAF, 2009 a 2015.

Ciclo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TMCA
Producción	405762	465 443	466 704	473 417	458 466	495 647	457 248	1.72 %
Importación	432 776	1 046 825	1 225 099	1 278 438	1 040 369	913 909	923 645	11.44 %
Exportación	14 561	21 799	23 535	26 822	33 490	38 357	30 136	10.95 %
Consumo	823 977	1 490 468	1 668 269	4 515 002	1 402 586	1 371 201	1 350 764	7.32 %
Oferta	838 538	1 512 267	1 691 800	1 751 855	1 536 074	1 409 559	1 380 899	7.39 %
Demanda	838 538	1 512 267	1 691 800	1 751 855	1 536 074	1 409 559	7 672 856	37.20 %

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

Figura 55. Evolución de los precios del azúcar y JMAF en México, 2009 a 2015.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015)

El diferencial de precios entre el azúcar mexicana y el JMAF importado o producido en México favorece al sustituto del azúcar, por lo que se espera que el proceso de sustitución de azúcar por JMAF siga creciendo hasta que se llegue al límite que técnicamente puede absorber la industria, especialmente la de bebidas embotelladas, jugos y néctares y las bebidas en general que emplean edulcorantes.

Bajo este contexto, la diversificación de usos se presenta como una oportunidad para los cañeros de lograr un valor agregado de la caña que pueda otorgar un aumento en el precio de la caña de azúcar. A pesar de que existe una lista con cerca de 250 productos diversificados de la caña, documentados ampliamente en diversas bases de datos científicas, sólo cinco se aprovechan en México: azúcar, bagazo para cogeneración de energía en los ingenios azucareros de forma marginal, bagazo para papel, melazas y alcohol (Aguilar, 2012).

## 2.2.2.5 Situación regional

### 2.2.2.5.1 A nivel internacional

Hasta ahora el producto principal de la agroindustria que procesa la caña es el azúcar, no obstante, en Brasil, el uso de la caña se divide en la producción de azúcar y etanol. En este sentido, un comparativo entre México, Brasil y Colombia, es ilustrativo de las condiciones de productividad y competitividad de la agroindustria mexicana con el referente internacional. En cuanto a los rendimientos en fábrica, los tres países arrojan resultados similares (11.1 %, 12.1 % y 11.7 %, respectivamente), mientras que Colombia destaca en producción de azúcar por hectárea (9.5 t ha<sup>-1</sup>, 9.7 t ha<sup>-1</sup> y 14.4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). En contraste el rendimiento de caña en campo de México (65 t ha<sup>-1</sup>) es muy inferior al de Brasil (85 t ha<sup>-1</sup>) y Colombia (120 t ha<sup>-1</sup>) (FAOSTAT, 2011; SIAP, 2012). Lo que muestra que el problema de competitividad internacional de la agroindustria cañera de México se ubica en el campo, con bajos rendimientos.

La baja productividad del campo cañero se agudiza ante la sustitución de azúcar por otros edulcorantes, tanto naturales como artificiales, impactando los precios del azúcar a la baja y, en consecuencia, el precio pagado a los cañicultores por la caña.

Lo edulcorantes sustitutos del azúcar de caña representan un segmento importante del mercado y su consumo está creciendo como consecuencia de los cambios en los hábitos alimenticios de las personas y cuestiones relacionadas a la salud; siendo el principal producto competidor del azúcar el JMAF. Por otra parte, la reducción de los precios del azúcar, observada entre 2014 y 2015, podría eventualmente incrementar su consumo y reducir la tasa de sustitución de azúcar por fructosa, sin embargo este es un tema que habrá que demostrar.

### 2.2.2.5.2 A nivel nacional

En México existen siete regiones definidas por las condiciones ambientales predominantes y el nivel de desarrollo tecnológico (Figura 56), ambos factores que condicionan el rendimiento del cultivo en campo. Así, mientras el rendimiento más alto se observa en la región Centro, los rendimientos más bajos están en la región Sureste, Huasteca y Centro Sur, siendo esta última la que cuenta con mayor superficie sembrada (40 % del total nacional), mayor volumen de caña molida bruta (35.9 % del total nacional) y mayor número de ingenios. Las regiones con los rendimientos más altos cuentan con las superficies más bajas y, por ende, los volúmenes de caña molida más bajos (4 % de la superficie y 6.3 % del volumen total, respectivamente).

Figura 56. Regiones de producción de caña de azúcar y azúcar en México.



Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015)

Los valores de bajos rendimientos están directamente relacionados a la disponibilidad de agua en el cultivo. En la región Centro, donde se registran los valores más altos, el 100 % de la superficie sembrada se encuentra bajo condiciones de riego, caso contrario con las Unidades Ambientales Sureste y Centro Sur, las cuales tienen cerca del 70 % de su superficie en condiciones de secano. En el caso de la Huasteca, a pesar de contar con un 60 % de superficie bajo riego, el nivel tecnológico de esta actividad en el cultivo es bajo, predominando el riego por gravedad con baja eficiencia de aprovechamiento de agua (Tabla 45).

Tabla 45. Uso de riego y diferencias estadísticas por Tukey en indicadores de campo y producción por regiones en México, 2000 a 2014.

Regiones	Número de ingenios	Superficie (%) RC/RA/S	Rendimiento en campo (t ha <sup>-1</sup> )	Superficie sembrada (ha, %)	Caña molida bruta (t, %)
Centro	3	100/0/0	110.1a	25,390d (4.0)	2,797,025e (6.3)
Norte	3	100/0/0	88.0b	21,205d (3.4)	1,760,230f (3.9)
Occidente	12	70/15/15	82.5b	112,721b (17.8)	9,208,918b (20.6)
Huasteca	8	56/9/35	64.9c	104,413b (16.5)	6,681,277c (14.9)
Centro Norte	3	28/47/25	90.0b	29,576d (4.7)	2,681,979e (6.01)
Centro Sur	18	2/27/71	65.8c	254,849a (40.4)	16,058,895a (35.9)
Sureste	7	8/22/70	63.5c	83,303c (13.2)	5,464,298d (12.2)
Total	54		74.1	631,457 (100.0)	2,797,025 (100.0)

RC=riego completo/RA=riego de auxilio/S=secano. Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

Fuente: elaboración propia con datos de CONADESUCA (2015).

En las regiones Occidente y Norte existen condiciones tecnológicas que permiten un buen rendimiento en campo, pese a que aún se empleen riegos de auxilio y exista aún una porción de superficie de secano. En el caso de la región Centro Norte, los riegos de auxilio han sido una alternativa que ha permitido obtener rendimientos aceptables y sugiere un área de oportunidad a la tecnificación del riego para alcanzar rendimientos cercanos a los valores más altos reportados en nuestro país.

La agroindustria azucarera mexicana y su posicionamiento competitivo, medido por el rendimiento en campo, presenta un rezago importante con respecto a otros países. La superficie sembrada y cosechada de caña de azúcar, supera ampliamente a los países situados en los primeros lugares, pero su rendimiento en campo y la extracción de sacarosa es muy inferior. La superficie cultivada de 2007 a 2014 se incrementó en 15 % con respecto a la de 2000 a 2006, mientras los rendimientos de caña en campo (t ha<sup>-1</sup>) se redujeron en 8 % (SIAP, 2015a), pasando de 71 t ha<sup>-1</sup> a poco menos de 65 t ha<sup>-1</sup>. Este aspecto ha sido documentado por la SAGARPA (2007 y 2009), y por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2009 y 2010), quienes la señalan como un punto crítico para la competitividad del sector cañero. Aguilar *et al.* (2012) coinciden en que el problema

<sup>2</sup> DOF 06/02/2016 ACUERDO por el que se sujeta a permiso previo la exportación de azúcar. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5381128&fecha=06/02/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5381128&fecha=06/02/2015)

de competitividad internacional de la agroindustria cañera en México se ubica en la baja de rendimientos en campo.

#### 2.2.2.6 Política azucarera

La agroindustria de la caña de azúcar es una actividad de alto impacto social y económico por las oportunidades y fuentes de empleo que genera en la industria y en el campo mexicano, con efectos multiplicadores en la actividad económica de las regiones cañeras. Siendo un producto de alto contenido energético se le considera como un elemento de consumo básico en la dieta de los mexicanos, y es también un insumo importante para la industria fabricante de alimentos y bebidas. Se estima que en México dependen de la agroindustria azucarera cerca de dos millones de mexicanos, y genera empleos tanto agrícolas como manufactureros.

Las características en el cultivo y procesamiento de la caña de azúcar, sus implicaciones sociales y las peculiaridades de su mercado, han dado lugar a las épocas de auge y crisis a lo largo de la historia de nuestro país, circunstancias que han hecho necesaria la intervención directa del gobierno o la aplicación de políticas para tratar de equilibrar y reorganizar al sector, situación que ocurre en la mayoría de los países donde se practica esta actividad.

Lo anterior se pone de manifiesto, con la existencia de un marco jurídico e institucional específico para el desarrollo de la agroindustria azucarera, lo que no se observa con otros productos y actividades del campo, aun cuando también sean beneficiarios de los recursos públicos que se destinan para apoyar el desarrollo de la actividad agrícola.

El artículo 25 constitucional dispone que la ley establecerá mecanismos que faciliten todas las formas de organización social para la producción, distribución y consumo de bienes y servicios socialmente necesarios, en este contexto, el 22 de agosto de 2005, se promulgó la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, cuyas disposiciones son de interés público y de orden social por su carácter básico y estratégico para la economía nacional.

Esta ley señala que la caña de azúcar es un producto básico y estratégico; las actividades de siembra, cultivo, cosecha e industrialización de la caña de azúcar son consideradas de interés público. La ley tiene como objeto normar las actividades asociadas a la agricultura de contrato, al desarrollo e integración sustentable de la caña de azúcar y todos los procesos que van de la siembra hasta la comercialización de la caña de azúcar, sus productos, subproductos, co-productos y otros derivados.

La ley prevé un marco institucional específico a través del establecimiento del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), instancia de coordinación y ejecución de todas las actividades previstas en propia ley relacionadas con la agroindustria de la caña de azúcar. La máxima autoridad en esta materia es la Junta Directiva del CONADESUCA, integrada por organismos públicos

y privados que buscan coordinar y conjuntar acciones para atender y dar seguimiento a los temas más relevantes del sector, entre los que destacan la elaboración del balance nacional azucarero y la determinación de la metodología para fijar el precio de referencia para el pago de la caña en los ciclos azucareros.

La SAGARPA es la dependencia responsable de dictar y coordinar con los tres órdenes del gobierno, las políticas públicas orientadas a promover la rentabilidad, productividad y competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar. Asimismo, establece programas para el fomento y el desarrollo de la agroindustria de la caña de azúcar e impulsar esquemas que propicien la inversión en el campo cañero y en la industria azucarera.

La Secretaría de Economía forma parte de la Junta Directiva del CONADESUCA y, de conformidad con sus atribuciones, es responsable de promover, orientar, fomentar y estimular la industria nacional, y establecer la política de industrialización de los productos agrícolas, en coordinación con las dependencias competentes. Asimismo es responsable de formular y conducir las políticas que permitan asegurar el abasto de los productos básicos en el país; cuenta con facultades para establecer medidas de regulación no arancelaria como los cupos de importación, para resolver desequilibrios o riesgos en el abasto de azúcar.

En este contexto, la Secretaría de Economía establece medidas de política orientadas a brindar certidumbre sobre la disponibilidad suficiente de azúcar para satisfacer las necesidades de los consumidores de azúcar, sobre todo considerando que éste no sólo es un bien de consumo final, sino que es un insumo importante en varias ramas industriales que producen alimentos y bebidas, entre otros productos. En los ciclos azucareros que van de 2008 a 2011, en el marco de sus atribuciones, la Secretaría de Economía, escuchando a todos los integrantes de la cadena productiva, ha implementado diversos cupos de importación de azúcar con los cuales se ha facilitado la importación ordenada de este producto, asegurando su abasto interno.

#### 2.2.2.7 Aranceles de importaciones

##### 2.2.2.7.1 Azúcar de caña

El comercio exterior de azúcar en México se encuentra enmarcado en la dinámica del TLCAN. El principal destino de las exportaciones mexicanas son los Estados Unidos, que como se ha analizado, representa una importante zona consumidora de azúcar, y cuyas importaciones están libres de arancel por el TLCAN.

Por su parte, las importaciones de azúcar de México se realizan al amparo de cupos de importación con un arancel preferencial mediante el mecanismo de cupos, con el fin de asegurar el abasto y mantener la estabilidad del precio del azúcar para la industria alimentaria y los hogares. Los principales países de origen de las importaciones de azúcar en México provienen de Centro y Latinoamérica, tales como Guatemala, Nicaragua, Brasil, Colombia, entre otros.

Para el caso del azúcar, la tasa de crecimiento promedio de las exportaciones se ubicó en 66 % para 2002/2003 - 2010/2011 y, en promedio, el volumen de exportación para el mismo período fue 518 mil toneladas anuales.

Para el ciclo 2015, el máximo volumen de exportaciones alcanzó las 1,499 mil toneladas, es decir, el 124 % con respecto al ciclo inmediato anterior, y el principal mercado destino de las exportaciones nacionales fueron los Estados Unidos, con el 99 % de las mismas. En el caso de las importaciones, éstas ascienden a un total acumulado de 1,197 mil toneladas, es decir, en promedio el 2.6 % de la producción en el período considerado.

#### 2.2.2.7.2 Jarabe de maíz de alta fructuosa

Para el JMAF, el panorama de comercio exterior es diametral al del azúcar. Como resultado del acelerado ritmo de crecimiento de consumo en el país muy por encima de su nivel de producción, ha provocado que las importaciones principalmente provenientes de los Estados Unidos crezcan a una tasa promedio de 94.1 %. De esta forma, se satisface el 40 % del consumo nacional de JMAF. En este mismo período (2002/2003 - 2010/2011), las exportaciones crecieron a una tasa de 2.2 %.

El comercio exterior de edulcorantes se encuentra estrechamente ligado a la dinámica del mercado de los Estados Unidos. En este contexto, las exportaciones de azúcar se dirigen principalmente hacia dicho mercado, dado que su nivel de producción es inferior a su consumo de azúcar e inclusive a la oferta exportable de México. Además se aprovecha la situación arancelaria que se tiene con base al TLCAN. En cambio el creciente consumo de JMAF en México ha acelerado las importaciones de este producto, proveniente principalmente del mercado de edulcorantes de los Estados Unidos.

#### 2.2.2.8 Aranceles de exportaciones

La fracción arancelaria es un código numérico (ocho dígitos, seis a nivel internacional y los últimos dos dígitos los establece el país importador) que se encuentra en las tarifas del impuesto general de importación y de exportación, el cual permite clasificar y distinguir las mercancías para efectos del cumplimiento de las restricciones y regulaciones arancelarias y no arancelarias. En México, con la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, se estableció que la exportación de azúcar no requiere de pago de impuesto. Para la importación no se realiza pago de arancel cuando la mercancía procede de países con los cuales México tenga firmado un tratado de libre comercio o un acuerdo comercial. El arancel que pagan los países con los que no se tenga firmado un acuerdo comercial es del 36 % (Santana, 2014).

#### 2.2.2.8.1 Azúcar de caña

El mercado internacional del azúcar esta integrado por la comercialización de los excedentes de los países productores, como Brasil, Australia, Guatemala y Colombia, no obstante también concurren a ese mercado países que no son autosuficientes en azúcar y que por razones estratégicas compran y venden el producto según sus circunstancias comerciales temporales, tal es el caso de México. El 06 de febrero de 2015 entró en vigor el "Acuerdo por el que se sujeta a permiso previo la exportación de azúcar"<sup>2</sup>, luego de una larga disputa sobre el comercio del endulzante donde los Estados Unidos acusaban a México de *dumping* a la producción de azúcar. México logró demostrar que eran apoyos al campo y no subsidios. En el acuerdo no se establece un cupo fijo, sino una fórmula que permitirá establecer la cantidad de envíos, la cual dependerá directamente de la demanda y necesidades del país vecino del norte, principal socio comercial de México en el TLCAN. Este acuerdo estará vigente por cinco años a partir de 2015 y estará libre de aranceles. Después del período de vigencia del acuerdo se propone una revisión para efectuar modificaciones o, si el caso es exitoso, mantenerlo en los mismos términos.

#### 2.2.2.8.2 Jarabe de maíz de alta fructuosa

En el Anexo 302.2 del Capítulo 3 del TLCAN se establece el arancel que se aplica a la cantidad que exceda la cuota de las importaciones de México, de azúcares y jarabes originarios de Estados Unidos, el cual se reduciría a cero a lo largo de un período de 15 años, esta reducción fue de 15 % en proporciones anuales iguales para el período del primero de enero de 1994, hasta el primero de enero de 1999, después el arancel se redujo en proporciones iguales de tal forma que fuese equivalente a cero en el año 2008.

En el caso de la fructuosa, ésta quedó libre de arancel a partir de 2003 para los socios del TLCAN. Por su parte, los embotelladores mexicanos de refrescos iniciaron el consumo de alta fructuosa aproximadamente en 1995, para sustituir el azúcar por razones de precio fundamentalmente, lo que permitió a los grandes productores norteamericanos de fructuosa, al amparo del TLCAN, comenzar a exportar a México importantes cantidades de alta fructuosa al mismo ritmo que los embotelladores mexicanos adaptaban sus instalaciones. Al comenzar a verse afectados por dichas importaciones, la industria azucarera mexicana solicitó a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI] (Secretaría de Economía) la revisión del proceso de desgravación de las importaciones de fructuosa e iniciar una demanda antidumping.

Como resultado de estas acciones, SECOFI impuso aranceles compensatorios a la alta fructuosa que ayudaron a detener el avance de la importación del edulcorante, aunque no detuvieron su producción interna a base de maíz amarillo importado a precios subsidiados, originario de Estados Unidos, y sin incluir el arancel estipulado en el mismo TLCAN (CEFP, 2005).

# 3

## Sustitución del azúcar de caña por otros edulcorantes



---

### 3. Sustitución del azúcar de caña por otros edulcorantes

#### 3.1 Resumen

En general, la población desea acceder a una gran variedad de alimentos sabrosos, convenientes, baratos y seguros que pueda consumir en grandes cantidades. Sin embargo, el consumidor elige alimentos a partir del sabor, costo y la conveniencia; al mismo tiempo, el sabor depende directamente de la densidad energética del alimento, por tanto, alimentos más apetecibles suelen ser los que tienen mayor valor calórico por volumen, lo que puede conllevar al riesgo de desarrollar problemas de salud. Uno de los principales factores de mercadeo es el precio de un producto ya que predice el aumento en la ingesta energética y en la obesidad, por tanto, los consumidores con ingresos más bajos son los principales afectados en estas condiciones. Pese a ello, no es el único determinante para la elección de alimentos, y no puede explicar por sí solo el aumento de las tasas de obesidad, pues la publicidad que existe respecto a los alimentos influye en las percepciones y preferencias de éstos, con frecuencia más allá del control voluntario y subconsciente. En el presente capítulo se analiza una muestra de productos elaborados a partir de algún edulcorante, tanto natural como sintético, clasificado en bebidas, alimentos, medicamentos y confitería y otros. La muestra implicó la visita a diferentes centros y puntos de venta y se estudió la ubicación de las principales manufacturas y el origen de la materia prima, con la finalidad de conocer la dinámica de sustitución del azúcar de caña por otros edulcorantes.

#### 3.2 Análisis de producto

##### 3.2.1 Principales industrias consumidoras de edulcorantes por sector

Se colectó una muestra de 4,312 productos; los criterios de selección de los productos estuvieron definidos por su accesibilidad por parte del consumidor final (desde los productos que se encuentran en la tienda de la esquina, la tienda de conveniencia, hasta otros muy difíciles de conseguir en supermercados, tiendas minoristas y farmacias); algunos productos se adquirieron durante las estancias académicas en países como Brasil, Colombia y Guatemala, para analizar los valores de contenido calórico, valor nutrimental y cantidad de azúcar o edulcorante contenido en cada una de ellas. En algunas cadenas comerciales, se accedieron a sus páginas web donde ofertan sus productos para consultar sus respectivos precios y se calcularon los promedios por sucursal. Para ubicar las sucursales consumidoras (tiendas) (Figura 57), se localizaron mediante el directorio de la empresa, posteriormente se efectuaron visitas a algunas tiendas para adquirir los productos y efectuar el análisis de etiqueta.

La mayor cantidad de empresas comerciales se concentra en las principales ciudades de México, lo que coincide con las ciudades de mayor concentración de población; razón que justifica la demanda de productos alimenticios, bebidas, medicamentos y confitería. En total se registraron 1,144 establecimientos de tiendas de autoservicios; Bodega Aurrerá es el nombre comercial de la tienda más abundante con cerca de 286 sucursales en todo el país.

Además de las sucursales que expenden los productos, existen industrias que demandan productos edulcorantes, las cuales se describen en el presente apartado. Coca-Cola es la empresa que predomina en la venta de productos en bebidas; Alpura, Bimbo y Marinela son los principales consumidores de edulcorantes en cuanto a alimentos; Tecnofarma y Saval son las principales industrias demandantes de edulcorantes en medicamentos y, finalmente, Ricolino, Vero y Sonric's acaparan la mayor proporción de productos de confitería.

Figura 57. Distribución de las principales tiendas de autoservicio en México.



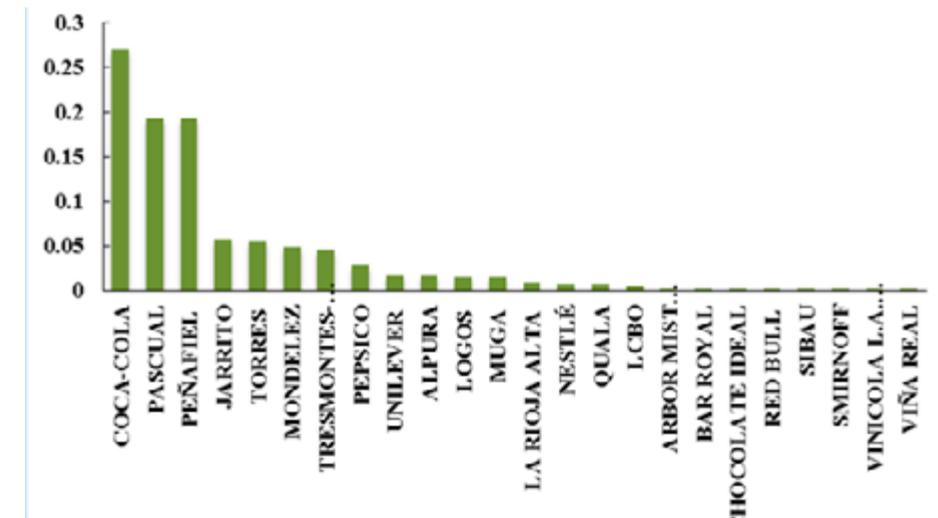
Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1.1 Bebidas

A partir de la muestra de productos se encontró que del total de las empresas que producen bebidas envasadas sólo tres concentran el 65 % de los productos comerciales más comunes (Figura 58). Las empresas son Coca-Cola, Pascual y Peñafiel (27 %, 19 % y 19 %, respectivamente). Las empresas restantes producen el 34 % de los productos más comunes en los comercios. La literatura señala que las principales refresqueras en México son Coca-Cola y Grupo Pepsico. Es importante recalcar que

la industria refresquera en México tiene su origen hacia finales del siglo XIX, una de las primeras empresas fue La Montañesa (fundada en 1886), desde entonces esta industria ha evolucionado y se ha adaptado a las demandas y gustos de los consumidores; de acuerdo con información publicada por la Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas (ANPRAC), la industria refresquera aporta a la economía el 0.5 % del PIB nacional y representa el 2.8 % del PIB manufacturero<sup>3</sup>.

Figura 58. Distribución de las frecuencias relativas de los productos de bebidas en exhibidor de tiendas comerciales agrupadas por empresa que las produce y comercializa.



Fuente: elaboración propia.

Llama la atención que la mayor cantidad de bebidas que están disponibles en los mostradores de las tiendas de mayor acceso a la población corresponden a una empresa: Coca-Cola, muy por encima de su principal competidor en marketing, Pepsico. Los productos que se encuentran dentro de este listado son: Coca-Cola y toda su línea de refrescos, Ciel (sabores), Del Valle (Jugos), Fuze té (sabores), Powerade, entre otros.

### 3.2.1.2 Alimentos

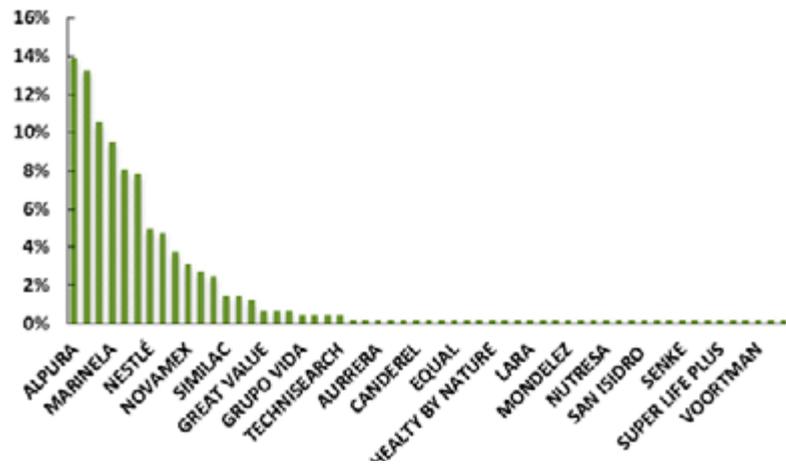
El alimento es toda sustancia elaborada, semielaborada o en bruto que se destina al consumo humano, incluidas las bebidas, el chicle y cualesquiera otras sus-

<sup>3</sup> Secretaría de economía, Septiembre 03, 2015. Consultado en <http://www.gob.mx/se/articulos/industria-refresquera-en-mexico>

tancias que se utilicen en la elaboración, preparación o tratamiento de “alimentos”, pero no incluye los cosméticos, el tabaco ni las sustancias que se utilizan únicamente como medicamentos (DOF, 2014; FAO/OMS, 1999).

Del total de los productos consultados que correspondieron a este rubro, se encuentran distribuidos en 57 grandes empresas que las producen. Cuatro empresas concentran el 47 % de los productos expuestos en mostradores más accesibles. Las principales empresas que producen alimentos endulzados son: Alpura, Bimbo, Gamesa y Marinela (14 %, 13 %, 11 % y 10 %, respectivamente) (Figura 59).

Figura 59. Distribución de productos de alimentos en exhibidor de tiendas comerciales agrupadas por empresa que las produce y comercializa.



Fuente: elaboración propia.

Seis empresas concentran el 38 % de los productos, con proporción menor de 10 % para cada una, y mayor a 2 %. Por lo tanto, 45 empresas cuentan con menos del 1 % de los productos de la muestra. Los productos más comunes corresponden a los yogures, leches de sabores, pastelillos, chocolates, galletas, entre otros. Se comercializan bajo algunos nombres comerciales como los siguientes: Leche Alpura, Yogurth Alpura, Yofrut, Barra Multigrano, Donitas Bimbo, Mantecadas, Negrito Bimbo, Chokis, Cremas de Nieve, Hot Cakes, Polvorones, Ricanelas, Barritas Marinela, Gansito, entre otros.

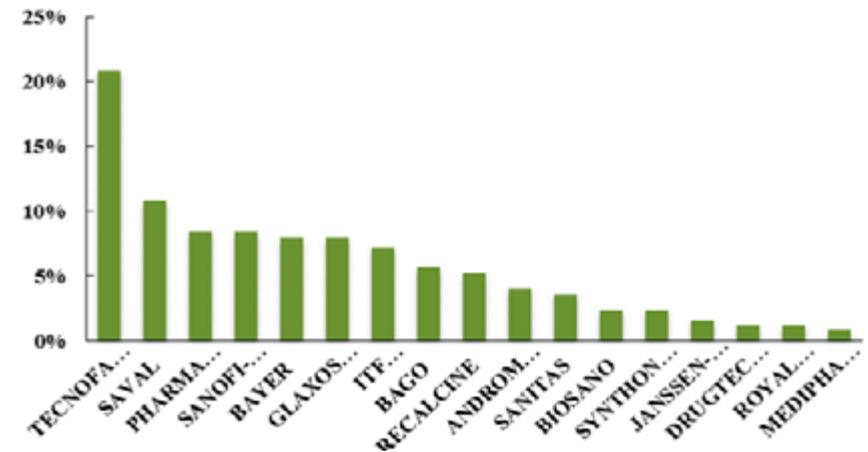
### 3.2.1.3 Medicamentos

Los medicamentos son la tecnología médica más usada para la prevención, el tratamiento y la rehabilitación de la salud, lo que convierte a la industria farmacéutica en la principal fuente de innovación en salud. La correlación positiva entre

innovación farmacéutica y las condiciones de salud de la sociedad son innegables, ya que se ha observado que la introducción de nuevos medicamentos explica 40 % del aumento promedio en la esperanza de vida, observada en 15 años en 52 países, incluido México<sup>4</sup>.

La empresa chilena TecnoFarma<sup>5</sup> es la que abarca el 21 % de los productos de la muestra proveniente de tiendas y farmacias. En segundo lugar, está la farmacéutica Saval<sup>6</sup>, también empresa chilena con el 11 % del total de productos. En total, se contabilizaron 17 empresas comercializadoras de productos, consumidoras de edulcorantes para la confección de sus medicamentos. Del total de empresas, 15 comercializan el 68 % de los productos, pero cada una concentra menos del 10 %. El promedio de porcentaje por productos comerciales de cada una de las 15 empresas es del 5 % (Figura 60).

Figura 60. Distribución de productos de medicamentos en exhibidor de tiendas comerciales agrupadas por empresa que las produce y comercializa.



Fuente: elaboración propia.

Algunos nombres bajo los cuales se comercializan los productos al consumidor son: Doloten, Eniflex Duo Forte, Actron pediátrico, Redoxon, Omeprazol, Analgex, entre otros.

<sup>4</sup> Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA). Consultado en <http://www.canifarma.org.mx/funcionenlasociedad.html>

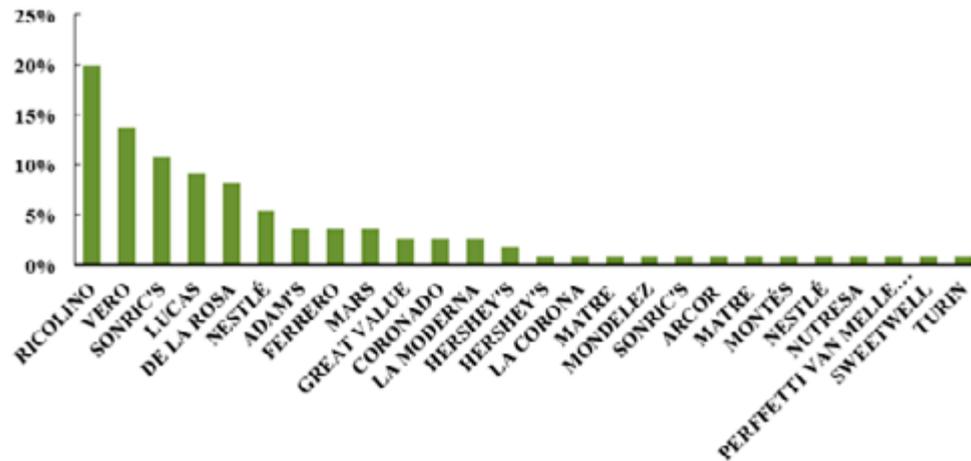
<sup>5</sup> <http://www.tecnofarma.cl/>

<sup>6</sup> <http://www.saval.cl/>

### 3.2.1.4 Confitería y otros

De acuerdo con la Secretaría de Salud (2014) (DOF, 15 de abril de 2014), se entiende como confitería a los alimentos de sabor y textura variada que dentro de sus componentes principales se encuentren los azúcares y/o edulcorantes, puede contener o no cereales, gomas, frutas u otros ingredientes opcionales y aditivos. En este sentido, de la muestra colectada, la empresa que mayor cantidad de producto comercializa es Ricolino (20 %); le siguen Vero y Sonric's (14 % y 11 %, respectivamente). Diez empresas tienen menos de 10 % de los productos. Finalmente, 13 empresas presentan sólo 1 % de los productos colectados (Figura 61).

Figura 61. Distribución de productos de confitería y dulces en exhibidor de tiendas comerciales agrupadas por empresa que las produce y comercializa.



Fuente: elaboración propia.

Los nombres bajo las cuales se comercializan algunos productos son: Bubulubu, Duvalín, Kranky, Panditas, Coffee-Mate, La Lechera, Hershey's, Pelón Pelo-Rico, Pale Lob, Orbit, Cloret's, Tix-Tix, entre otros.

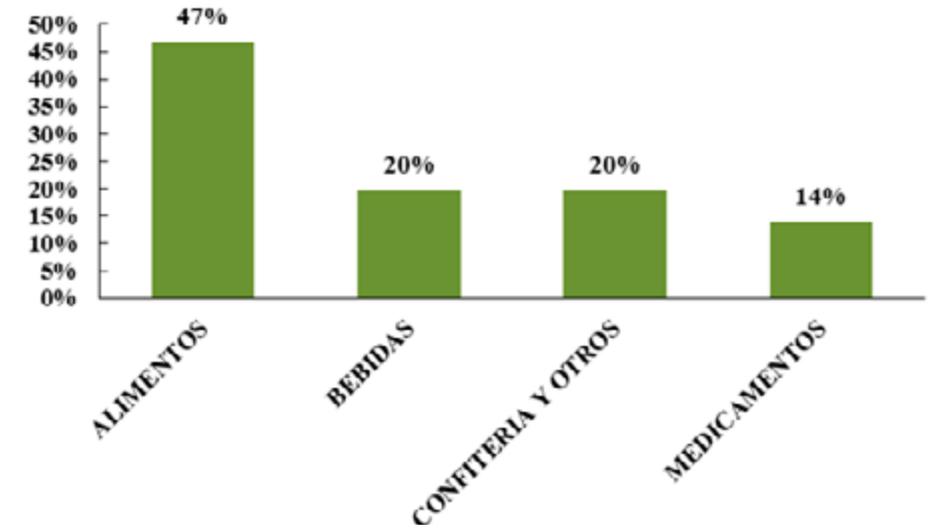
### 3.2.2 Fuentes de proveeduría de empresas demandantes de edulcorantes

La muestra de productos realizada corresponde a 124 empresas que demandan edulcorantes para la confección de los productos que ofertan. Es importante aclarar que es probable que una gran cantidad de empresas no entran en el análisis

de este apartado, dado el tamaño de muestra. El estudio sugiere que existe una mayor proporción de empresas que se dedican a producir alimentos. Algunas empresas como Nestlé, Alpura o Lala, producen dos tipos de productos: alimentos y bebidas.

En cuanto a bebidas, sobresalen los productos gaseosos, y Coca-Cola acapara la mayor parte del mercado. En confitería, Sonric's, Dulces Vero (Grupo BIMBO) y Ricolino. En medicamentos, Bayer, Tecnofarma, Aventis, sobresalen como principales demandantes de productos para endulzar (Figura 62).

Figura 62. Proporción de empresas que formaron parte de la muestra, por tipo de producto que ofertan en el mercado.



Fuente: elaboración propia.

Se realizó una distribución de las empresas en el país, esto pudo ser posible gracias a una revisión exhaustiva de directorios de las empresas; para representarlas, se empleó un sistema de información geográfico, y se observaron ciertas relaciones geográficas de la concentración de manufactura y los sitios de producción de la materia prima, lo que facilita o dificulta su transformación (Figura 63).

Figura 63. Distribución de las empresas demandantes de edulcorantes en el país. En tonalidades grises aparecen las áreas productoras de caña de azúcar.



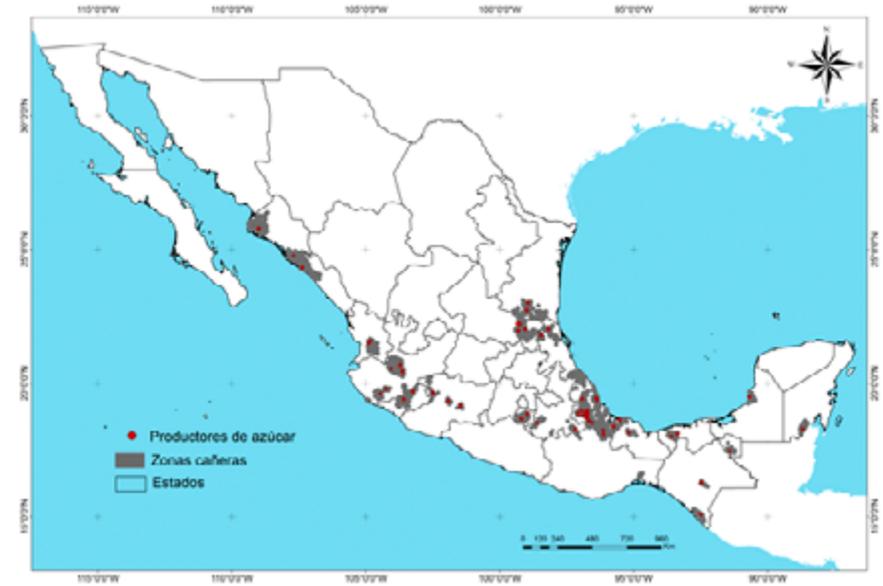
Fuente: elaboración propia.

El análisis de la distribución de las empresas de manufactura sugiere que la mayoría de ellas se concentra en el centro de país. Las empresas que producen alimentos azucarados se localizan en sitios cercanos a áreas productoras de caña de azúcar; ocurre lo contrario con los medicamentos, lo que se justifica por el uso de la lactosa como principal producto edulcorante.

### 3.2.2.1 Bebidas

A pesar de que la sacarosa es reportada en las etiquetas como el principal edulcorante para los productos en las bebidas, el JMAF aparece cada vez con mayor frecuencia sin indicar la proporción en la que se encuentra en los productos. La sacarosa producida en los ingenios azucareros de nuestro país, compite directamente con el JMAF proveniente de Estados Unidos y el producido e importado por las dos empresas principales: Almidones Mexicanos y Arancia S.A. de C.V. Por ello, no es difícil suponer que las áreas principales de producción de azúcar, coinciden con las principales zonas productoras de caña de azúcar (Figura 64).

Figura 64. Áreas de producción de caña de azúcar y ubicación de los ingenios azucareros.



Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2.2 Alimentos

La sacarosa, al formar parte de cerca del 60 % de los productos de la muestra, sigue siendo el principal edulcorante empleado en la industria de alimentos. Por esta razón, las fuentes de proveeduría de esta materia prima son los ingenios azucareros que operan en nuestro país y la zona de origen de este producto coincide con lo resaltado en la figura 64. Sin embargo, en una gran cantidad de productos no se define el tipo de edulcorante contenido y por la misma razón, se desconoce la zona de donde provenga el producto.

Dado que las bebidas, alimentos y parte de confitería emplean frutas como saborizantes, de manera general, se observa que las empresas se encuentran ubicadas en áreas cercanas a los sitios de origen de la materia prima de sus productos, la mayor cantidad de producción frutícola, empleada en alimentos y bebidas se encuentra distribuida en el país (Figura 65).

Figura 65. Concentración de la producción de materia prima utilizada en la manufactura de alimentos y bebidas edulcoradas.



Fuente: elaboración propia.

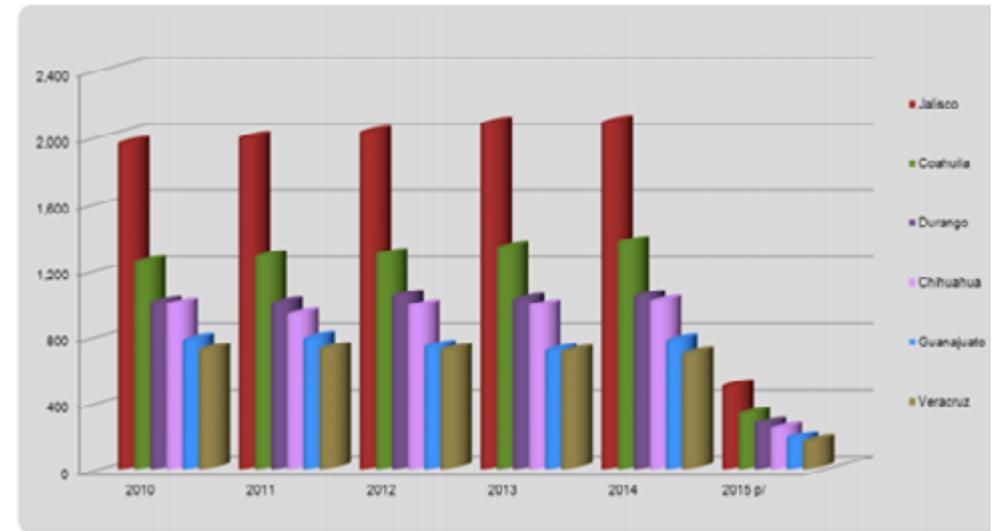
El aspartame es el segundo producto que se utiliza en los alimentos, sustancia producida en gran medida por la empresa norteamericana NutraSweet Co<sup>7</sup>, dicha empresa reporta la presencia su uso en más de 5,000 productos y es aprobado en más de 100 países de seis continentes.

### 3.2.2.3 Medicamentos

El principal producto empleado para endulzar medicamentos es la lactosa, edulcorante proveniente de la leche (Figura 66). Pese a que la mayoría de las industrias se encuentran localizadas en el centro del país, los estados con mayor volumen de producción de leche son Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato y Veracruz.

<sup>7</sup> <http://www.nutrasweet.com/custpart/index.asp>

Figura 66. Principales estados productores de leche de bovino, 2010-2015.



Fuente: Boletín de leche, enero-marzo 2015<sup>8</sup>.

Sin embargo, en el mapa, las empresas consumidoras se encuentran concentradas en el centro del país, donde probablemente ya se reciba la lactosa como materia procesada, asumiendo mayor desarrollo tecnológico en el centro y las tres principales ciudades del país.

### 3.2.2.4 Confitería

La sacarosa sigue siendo el principal edulcorante empleado en la confitería, sin embargo se han ido agregando nuevos edulcorantes como el sorbitol, el maltinol y el JMAF. De la información recabada en este apartado, se encuentra que la producción de sacarosa es nacional, el origen del JMAF proviene, en su mayoría, por importación de Estados Unidos. En México sólo dos empresas lo producen. Para el caso del sorbitol, CPIngredientes S.A. de C.V. declara ser el principal productor en México, pero también importa el producto de otros países, principalmente a través de la empresa de capital francés Roquette Frères<sup>9</sup>. Gargill<sup>10</sup>, también es una empresa que además de producir

<sup>8</sup> [http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/boletinleche/boletinlecheenero-marzo\\_2015.pdf](http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/boletinleche/boletinlecheenero-marzo_2015.pdf)

<sup>9</sup> DOF (2009) Resolución final del examen de vigencia de la cuota compensatoria impuesta a las importaciones de sorbitol grado USP, originarias de la República Francesa, independientemente del país de procedencia. Esta mercancía se clasifica en la fracción arancelaria 2905.44.01 de la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5113672](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5113672)

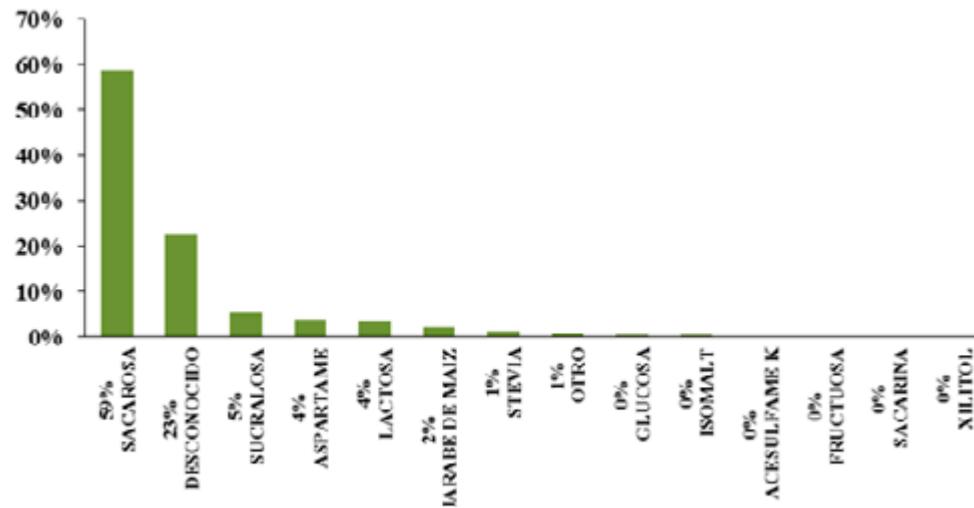
<sup>10</sup> <http://www.cargillfoods.com/emea/en/products/sweeteners/polyols/index.jsp>

JMAF, también oferta Sorbitol, Maltitol, Isomaltosa y Manitol. La sucralosa se importa principalmente de Estados Unidos y es producida por el consorcio McNeil Nutritionals LLC y Tate & Lyle<sup>11</sup>.

### 3.2.3 Tipos de edulcorantes empleados en la industria nacional

De la muestra de productos consultados, se registraron 16 tipos de edulcorantes utilizados en la industria de productos consumibles en México. Existe una gran cantidad de edulcorantes englobados en “azúcares”, esta situación obliga a clasificar la información *desconocido* o en una categoría de *otros* (Figura 67).

Figura 67. Tipos de edulcorantes empleados en la industria nacional.



Fuente: elaboración propia.

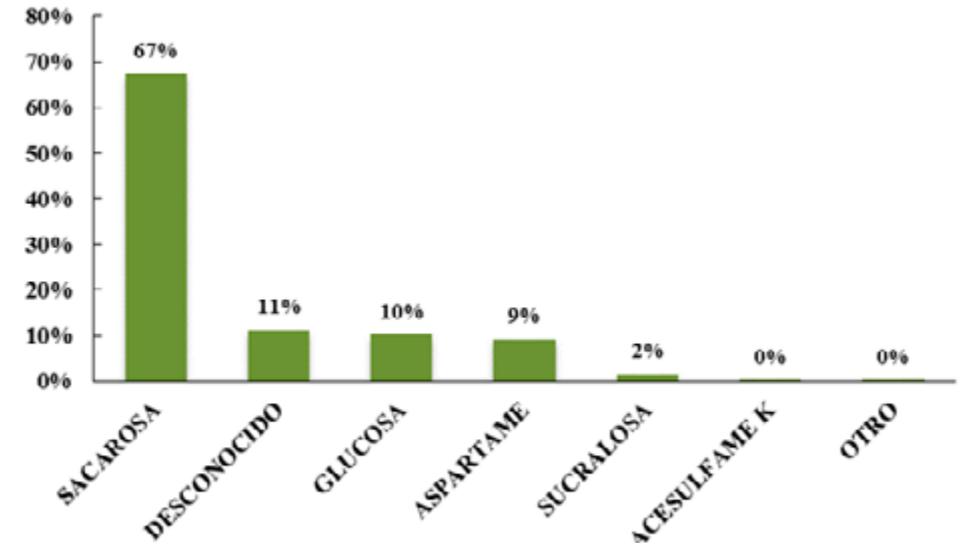
Del 60 % de los edulcorantes empleados en los productos considerados en la muestra, la sacarosa es el principal edulcorante, seguido por la lactosa. En total se emplean 12 edulcorantes utilizados en menos de 5 % de los productos que conformaron la muestra.

<sup>11</sup> En <http://www.foodnavigator.com/Business/Tate-Lyle-renews-sucralose-partnership-with-McNeil-Nutritionals>

### 3.2.3.1 Bebidas

Las bebidas es el grupo de productos más numeroso; del total, el 11 % no reporta específicamente el tipo de edulcorante empleado en los productos. La sacarosa ocupa el 67 % del total de los productos. El 10 % corresponde a glucosa, 9 % al aspartame y con menos del 2 % aparecen la sucralosa, el acesulfame y otros edulcorantes (Figura 68).

Figura 68. Tipo de edulcorante empleado en las bebidas.



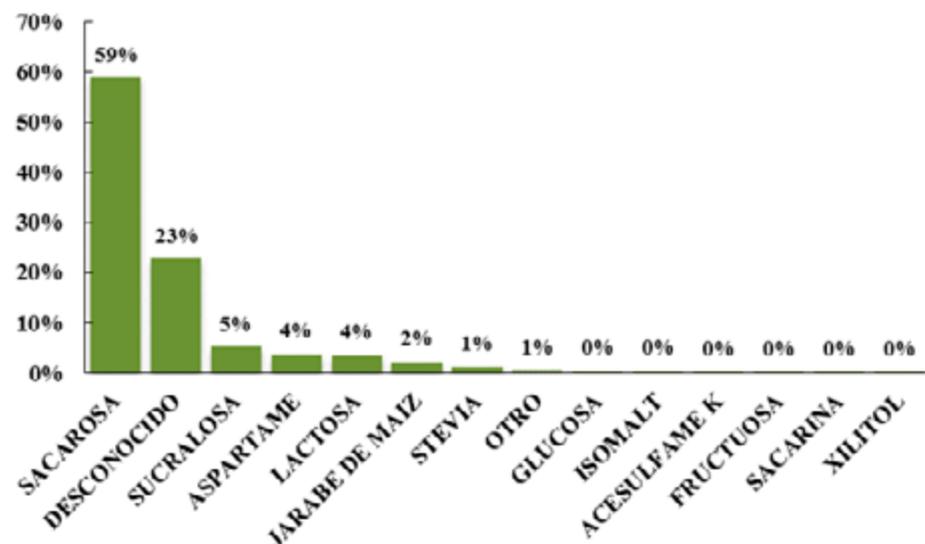
Fuente: elaboración propia.

Se reportan también mezclas de edulcorantes, principalmente sacarosa y JMAF y mezclas de sorbitol y acesulfame-k en pequeñas proporciones.

### 3.2.3.2 Alimentos

De los productos clasificados dentro de los alimentos, el 23 % no reporta qué tipo de edulcorante fue utilizado para su elaboración; el 59 % de los alimentos de la muestra emplea la sacarosa como principal edulcorante; el 5 %, la sucralosa, con 4 % aparecen el aspartame y la lactosa (cada uno) y con 2 o menos del 2 % el JMAF, estevia, glucosa, isomalt, acesulfame, fructuosa, sacarina, xilitol y otros. Sin embargo, es un mercado que se encuentra al alza, puesto que la dieta de la población se ha ido modificando favorablemente para el caso de los edulcorantes no calóricos (Figura 69).

Figura 69. Tipos de edulcorantes empleados en los productos alimenticios de la muestra levantada en campo.



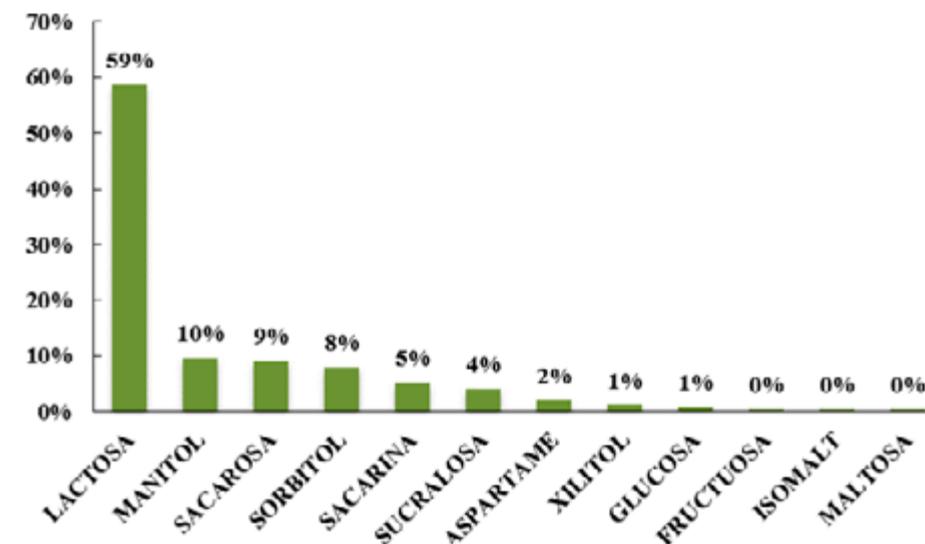
Fuente: elaboración propia.

Es importante recalcar que una buena parte de los productos alimenticios no reportan el tipo de edulcorante empleado en su elaboración, lo que puede conducir a confusión por parte del consumidor final al asumir que un producto está endulzado con azúcar, cuando en realidad se desconoce el origen de ese sabor azucarado. La nueva legislación de etiquetado específica que debe indicarse en la etiqueta el contenido de calorías por porción, no obstante no se obliga la indicación del origen de esas calorías.

### 3.2.3.3 Medicamentos

De los productos de la muestra clasificados como medicamentos, el 59 % está hecho a base de lactosa; manitol, con el 10 % y la sacarosa con 9 %. Nueve edulcorantes más son la base del 22 % de los productos con hasta 8 % del total. El 100 % de los productos consultados ofrecen información con los endulzantes utilizados, esta condición permite al consumidor conocer las reacciones secundarias en dado caso que presente síntomas de alergia a algún medicamento (Figura 70).

Figura 70. Tipos de edulcorantes empleados en los medicamentos de la muestra levantada en campo.

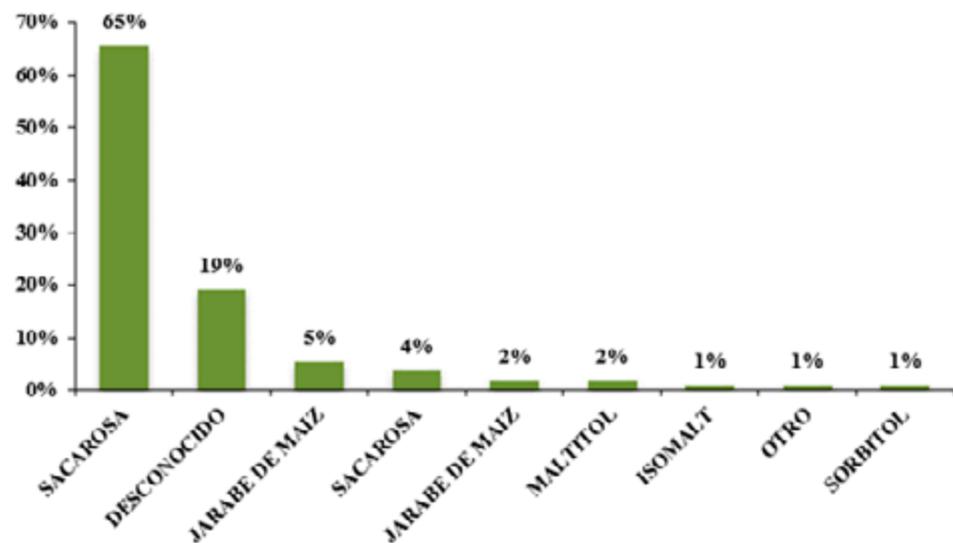


Fuente: elaboración propia.

### 3.2.3.4 Confitería y otros

En confitería y otros productos, se reportan siete tipos de edulcorantes. En el total de la muestra sobresale la sacarosa como principal base endulzante de los productos, sin embargo, cerca del 20 % no especifica el tipo de edulcorante contenido, esto, similar en los alimentos, genera confusión en la población de consumidores porque en la información nutrimental se reporta con el nombre de “azúcares”, sin especificar el tipo de endulzante, si es natural o no, o su contenido energético (Figura 71).

Figura 71. Tipos de edulcorantes empleados en los productos de confitería y otros de la muestra levantada en campo.



Fuente: elaboración propia.

La industria de la confitería depende directamente de los azúcares para su éxito en el mercado, pues el sabor es la principal característica que garantiza la compra de un producto dulce. Pese a ello, cada vez es más común que productos como los chicles, empleen edulcorantes sintéticos y con bajo contenido calórico, para evitar también problemas cariogénicos en los consumidores.

### 3.2.4 Proporción de edulcorantes por producto

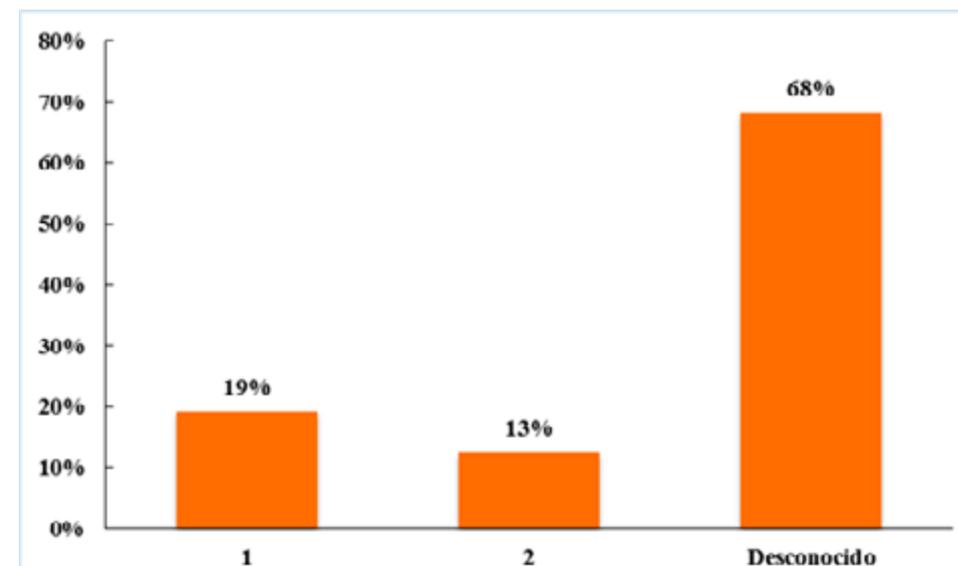
El análisis de etiqueta permitió conocer la proporción de edulcorantes por tipo de producto, los resultados sugieren que en las bebidas están compuestos por una mezcla de dos edulcorantes, mientras que en la confitería se encuentran productos hasta con siete tipos distintos de edulcorantes en un mismo producto.

#### 3.2.4.1 Bebidas

El 68 % de las bebidas observadas en el estudio son endulzadas con “azúcares”, se enfatiza en esta palabra en plural, ya que se desconoce si se emplea uno o más tipos de edulcorantes. A pesar de ello, los productos que reportan el número de edulcorantes empleados en cada uno de ellos no sobrepasa dos tipos diferentes. Des-

taca el uso principal de la sacarosa como base de las bebidas y las mezclas de sorbitol y acesulfame-k. Este tipo de producto es el que reporta el número más bajo de tipos de edulcorantes en un solo producto (Figura 72).

Figura 72. Frecuencia de productos con relación al número de edulcorantes empleados en un solo producto de bebida.

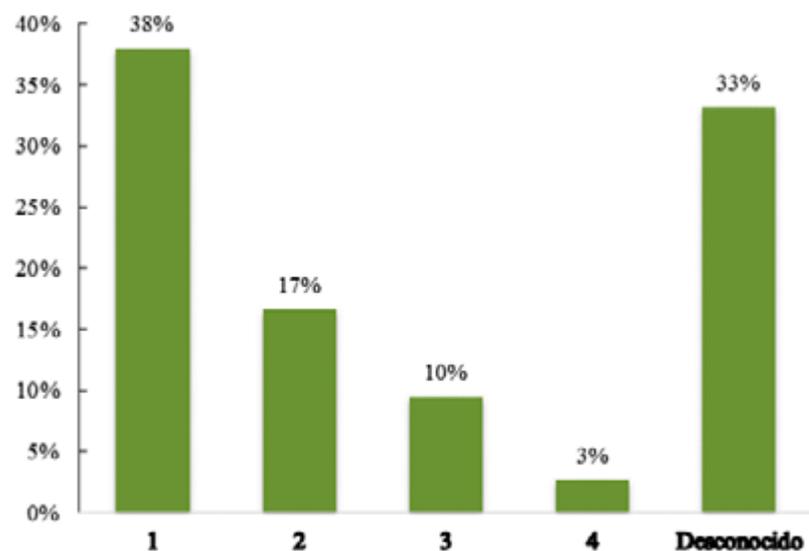


Fuente: elaboración propia.

#### 3.2.4.2 Alimentos

Cerca del 38 % de los productos alimenticios señalan en su información nutricional que su composición está basada principalmente en un solo edulcorante, dominado por la sacarosa (como se señaló en el apartado 3.1.3.2). Sin embargo, es de llamar la atención que un 33 % no especifica la cantidad de edulcorantes en su contenido; asimismo, el número máximo de edulcorantes reportados en la tabla nutricional es de cuatro, con solo el 3 %. Para el caso de los que declaran dos y tres edulcorantes distintos para cada producto, éstos ocupan el 17 % y 10 % del total de los productos, respectivamente (Figura 73).

Figura 73. Frecuencia de productos en relación al número de edulcorantes empleados en un solo producto alimenticio.

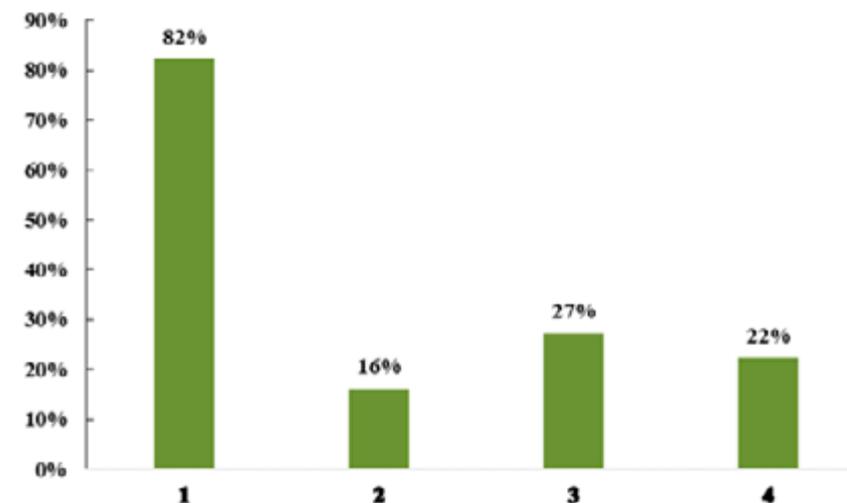


Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4.3 Medicamentos

El 100 % de los medicamentos señalan la base de la composición de sus productos. Es un elemento importante para el consumidor, pues le permite estar informado sobre el producto que está ingiriendo, dadas las reacciones alérgicas o efectos secundarios que pueda tener como consecuencia de su consumo (Figura 74).

Figura 74. Frecuencia de productos en relación al número de edulcorantes empleados en un solo medicamento.



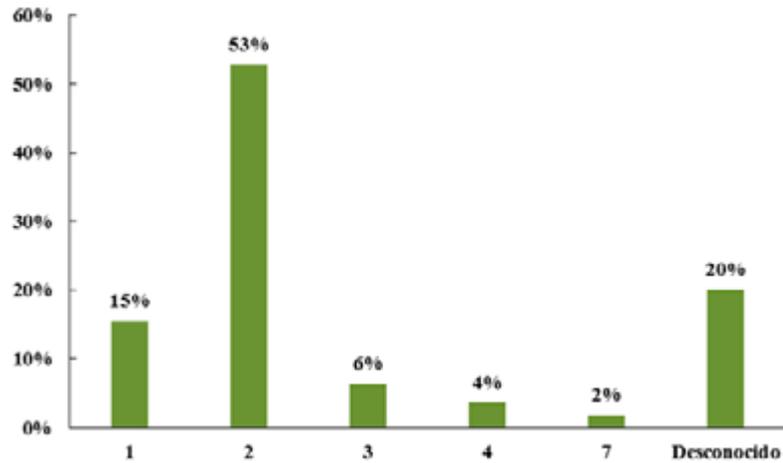
Fuente: elaboración propia.

La base de los productos medicinales que fueron considerados en la muestra se compone principalmente de un solo edulcorante.

### 3.2.4.4 Confitería y otros

La confitería es la categoría de alimentos que mayor cantidad de edulcorantes contiene, no obstante, es una categoría que señala el número de edulcorantes que emplea en su fabricación, pero resulta confusa la proporción de cada producto. El número máximo de tipos de edulcorantes utilizados es de siete en dos productos (Figura 75).

Figura 75. Frecuencia de productos en relación al número de edulcorantes empleados en un solo producto de confitería y otros.



Fuente: elaboración propia.

Aun así, se observa que cerca del 20 % de los productos no reportan el total de edulcorantes empleados en los mismos. Más de la mitad de los productos está compuesto por la mezcla de dos edulcorantes distintos. Siendo la base principal, la sacarosa.

### 3.2.5 Aporte calórico por producto y tipo de edulcorante

Definir a los hábitos alimentarios no resulta sencillo ya que existe una diversidad de conceptos, sin embargo, la mayoría converge en que se tratan de manifestaciones recurrentes de comportamiento, individuales y colectivas, respecto al qué, cuándo, dónde, cómo, con qué, para qué se come y quién consume los alimentos, y que se adoptan de manera directa e indirectamente como parte de prácticas socioculturales. Para la adopción de los hábitos alimentarios intervienen principalmente tres agentes: la familia, los medios de comunicación y la escuela (Macías *et al.*, 2012).

En la alimentación contemporánea en México conviven el placer y el hedonismo, con el control del consumo para guardar la línea y la salud. Sin embargo, el cuidado excesivo del cuerpo y la delgadez tampoco son vistos como algo adecuado. En la Ciudad de México, por ejemplo, las mujeres se preocupan por la apariencia de sus hijas, de que no estén gordas, al mismo tiempo que procuran que gocen con la comida y no se obsesionen con el peso y caigan en un trastorno alimentario. Esto quizá es resultado de la postura médica que al mismo tiempo llama la atención sobre los peligros de la obesidad y advierte del riesgo por los trastornos alimentarios como la anorexia y la bulimia. Igualmente, esta contradicción está presente en los medios de comunicación que promueve unos cánones

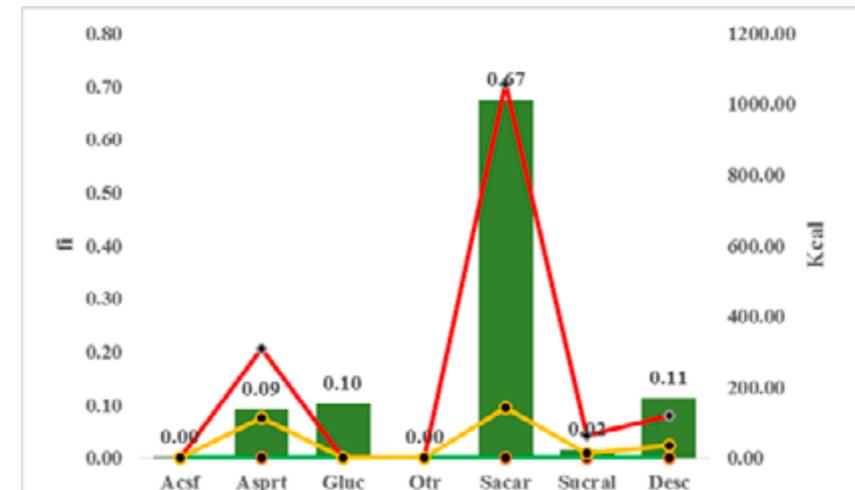
de belleza donde la delgadez es la norma, pero denuncia los casos de mujeres con trastornos alimentarios por alcanzar el peso que se requiere para ser modelo (Beltrán, 2010).

Partiendo de este contexto, del total de productos considerados en la muestra, el 28 % no reporta el aporte energético de acuerdo al tipo de edulcorante empleado. El porcentaje restante, en algunos casos se desconoce la unidad de medida por lo que también fueron omitidos.

### 3.2.5.1 Bebidas

De las bebidas consideradas en la muestra, está la endulzada con sacarosa, misma que aporta un contenido energético máximo de hasta 1,000 kcal por ración en las bebidas. De los productos de la muestra se desconoce el origen de la fuente edulcorante, pero se describe su aporte energético, en promedio de 34.7 kcal, esto hace suponer que se trata de edulcorantes sintéticos con bajas calorías (Figura 76).

Figura 76. Tipo de edulcorante, frecuencia (eje principal, barras) y aportes calóricos mínimo (verde), promedio (naranja) y máximo (rojo) (líneas, eje secundario) para productos de bebida.



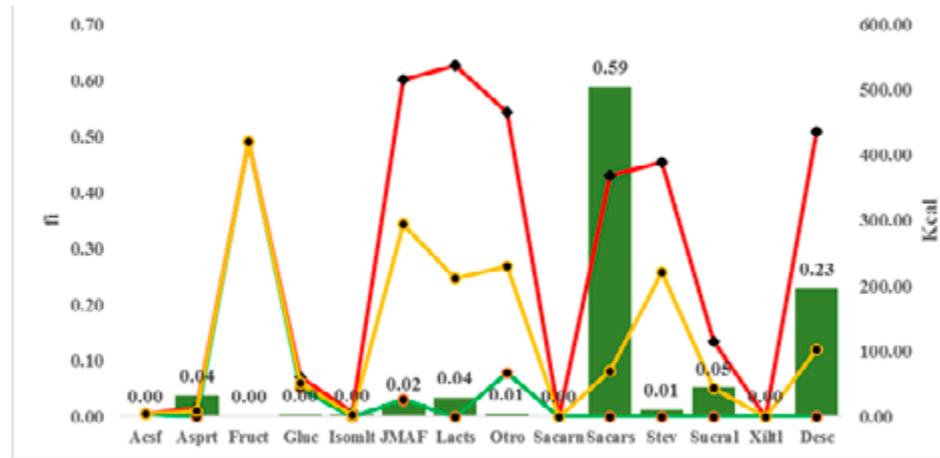
Fuente: elaboración propia.

Es importante recalcar la presencia de aspartame en las bebidas con un aporte calórico significativo (114.6 kcal, en promedio), que sugiere tamaños considerables de la porción de la presentación comercial del producto. El acesulfame-k y edulcorantes no identificados, clasificados como “otros”, no aportan calorías en los productos donde se encuentran.

### 3.2.5.2 Alimentos

Pese a que en los alimentos aún predomina el uso de la sacarosa como edulcorante principal, es el edulcorante con mayor aporte de calorías, aunque el JMAF y la fructuosa son más dulces que la sacarosa (Figura 77).

Figura 77. Tipo de edulcorante, frecuencia relativa (eje principal, barras) y aportes calóricos mínimo (verde), promedio (naranja) y máximo (rojo) (líneas, eje secundario) para productos alimenticios.



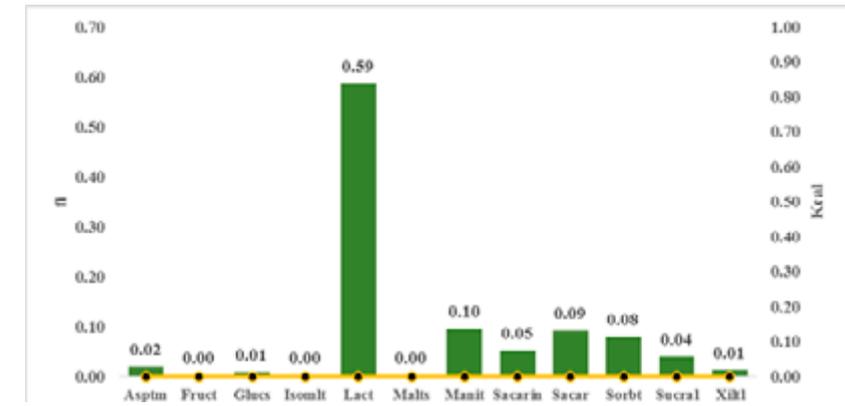
Fuente: elaboración propia.

Esta situación refleja la importancia que aún tiene la sacarosa en los alimentos y demuestra que los alimentos donde todavía es utilizado no tienen altos valores calóricos en la dieta.

### 3.2.5.3 Medicamentos

En los medicamentos consultados en la muestra, no se indica el contenido calórico del producto. Sin embargo, es el único tipo de productos que reportan puntualmente qué tipo de edulcorante ha sido empleado en su manufactura (Figura 78).

Figura 78. Tipo de edulcorante, frecuencia relativa (eje principal, barras) y aportes calóricos mínimo (verde), promedio (naranja) y máximo (rojo) (líneas, eje secundario) para medicamentos.

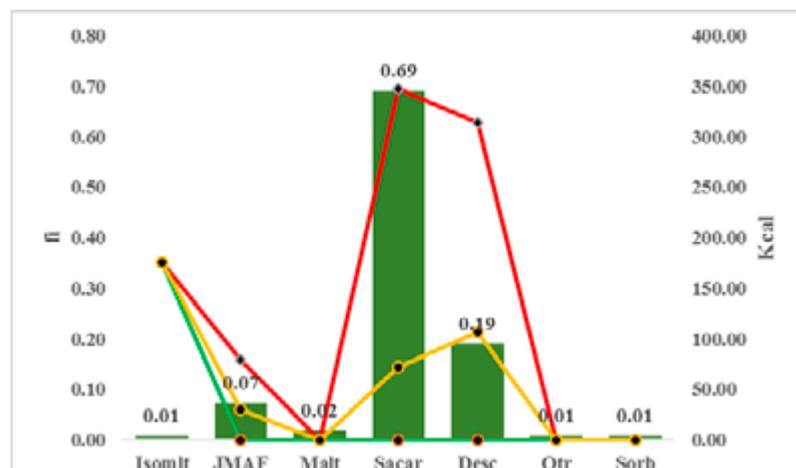


Fuente: elaboración propia.

### 3.2.5.4 Confitería y otros

En esta categoría, la sacarosa es el principal edulcorante empleado como base del producto y se encuentra en los productos con mayor contenido energético. Sin embargo, el promedio se encuentra por debajo de los productos desconocidos, que probablemente también estén hechos a base de sacarosa o isomaltosa. El sorbitol aparece en esta categoría de alimentos pero con muy bajo aporte energético, lo que le permite ser un edulcorante potencial para la industria de la confitería para personas con problemas de salud asociados a diabetes (Figura 79).

Figura 79. Tipo de edulcorante, frecuencia (eje principal, barras) y aportes calóricos mínimo (verde), promedio (naranja) y máximo (rojo) (líneas, eje secundario) para productos de confitería y otros.



Fuente: elaboración propia.

Después de la sacarosa, el producto identificado que aparece con más frecuencia es el JMAF. En los desconocidos, se clasifican aquellos denominados “azúcares”, que sugiere la presencia de más de un azúcar como elemento principal de un producto.

### 3.2.6 Marco legal de etiquetado en productos

La etiqueta se refiere a cualquier rótulo, marbete, inscripción, imagen u otra materia descriptiva o gráfica, que se encuentre escrita, impresa, estarcida, marcada, grabada en alto o bajo relieve, adherida, sobrepuesta o fijada al envase del producto preenvasado o, cuando no sea posible por las características del producto, al embalaje (DOF, 18 de agosto de 2014).

El etiquetado en los alimentos es la vía principal de comunicación entre los productores, proveedores y vendedores de alimentos, y sus posibles compradores y consumidores (FAO/OMS, 2007). Sin embargo, el uso genérico del término “azúcares” para referirse a todos los monosacáridos y disacáridos presentes en un alimento (DOF, 18 de agosto de 2014), permite que dentro de este término se encuentren incluidos edulcorantes naturales y sintéticos, de los que se desconoce las repercusiones en la salud.

A nivel internacional, el *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2007) sugiere, puntualmente que “cuando se haga una declaración de propiedades con respecto a la cantidad o el tipo de carbohidratos, deberá incluirse la cantidad total de azúcares, además de lo prescrito en la Subsección 3.2.1 (Que refiere al valor energético) [...]”. El mismo

documento señala que el componente azúcares deberá estar exento de declaración de sus contenidos en un producto cuando se le encuentre en concentraciones menores de 0.5 g por 100 g (en sólidos) y de 0.5 g en 100 ml (en líquidos).

Sin embargo, dado que uno de los principales derechos del consumidor es acceder a la información del producto que consume, saber de dónde proviene el producto qué consume, bajo qué condiciones se produce y sobre todo, qué es lo que contiene, en México, la Secretaría de Salud emite el Acuerdo por el que se publican los Lineamientos a que se refiere el artículo 25 del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios que deberán observar los productores de alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasadas para efectos de la información que deberán ostentar en el área frontal de exhibición, así como los criterios y las características para la obtención y uso del distintivo nutrimental a que se refiere el artículo 25 Bis del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (15 de abril de 2014), documento mediante el cual propone declarar el valor nutrimental de los compuestos de los productos a consumir.

Este acuerdo surge con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, donde se describen problemáticas de salud, tales como el sobrepeso, la obesidad, la diabetes y la hipertensión, las cuales han llegado a niveles muy elevados en todos los grupos de la población. De los hombres mayores de 20 años de edad, 42.6 % presentan sobrepeso y 26.8 % obesidad, mientras que en las mujeres estas cifras corresponden a 35.5 y 37.5 %, respectivamente. Asimismo, la urgencia de proteger a los niños mexicanos, en específico a los de edad escolar, en riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas con el sobrepeso y la obesidad y tomando en consideración el principio del interés superior de la niñez, se tiene como objetivo reducir la exposición que los niños tienen frente a productos con un alto contenido calórico. Se busca también incrementar la calidad de la dieta de las personas modificando la información nutricional en alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasadas y, en consecuencia, actualizar nuestra regulación para atender a los mayores estándares internacionales en esta materia.

En la modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, en el numeral 4.2.9.2, relacionado con las menciones obligatorias a que se refiere el artículo 25 del Reglamento [...], en el apartado VI. Las menciones obligatorias a que hace referencia el inciso c) del artículo 25 del Reglamento [...], señala que: “El presente numeral no le será aplicable a:

- i) Las bebidas saborizadas que sean consideradas de bajo contenido energético,
- ii) Aquellos productos envasados de manera individual cuyo contenido sea menor a la porción de referencia señalada en el artículo noveno del Acuerdo por el que se emiten los Lineamientos de Etiquetado.”

Es importante recalcar que algunas bebidas energéticas consideran el uso de azúcares o algún tipo de edulcorante en el proceso de elaboración.

Asimismo, en el apartado 4.2.9.4. Quedan exentos de declarar mediante etiquetado situado en el área frontal de exhibición, además de los enunciados en el párrafo segundo del artículo 25 del Reglamento, los siguientes [...], en el inciso *f*) los alimentos y bebidas no alcohólicas donde cada uno de los nutrimentos por porción representen un aporte energético igual o menor a 1 % de los nutrimentos diarios. Se recalca en este punto que gran cantidad de los edulcorantes sintéticos no calóricos, no representan más del 1 % de muchos productos en los que se emplean. No significa que el efecto en la salud sea dañino o no, dadas dichas concentraciones, sino que es importante enfatizar que puede ser motivo de confusión hacia el consumidor. La importancia de este enunciado dentro de las modificaciones señaladas radica en que en algunos productos disponibles en los anaqueles comerciales en el país, declaran en su información nutrimental “azúcares”, sin especificar la cantidad correspondiente dentro de la porción alimenticia del producto. Dada esta situación, todo producto endulzado con sacarosa, deberá reportar el contenido calórico y la proporción dentro del alimento.

### 3.2.7 Impacto económico y tendencias de mercado

En México, la industria azucarera es históricamente una de las más importantes, dada su relevancia económica y social en el sector primario; la agroindustria de la caña de azúcar es una actividad que genera más de dos millones de empleos anuales, tanto directa como indirectamente. La producción aporta un valor económico cercano a 27 mil millones de pesos (11.6 % de PIB en el sector primario y 2.5 % del PIB manufacturero) (Torrijos, 2013).

Los principales factores que influyen en los patrones de consumo son los ingresos, los cambios sociodemográficos, la incorporación de servicios en la alimentación (componente terciario) y la publicidad (FAO, 1997).

La situación entre la producción y consumo de azúcar en el mundo puede relacionarse para establecer regiones excedentarias y deficitarias de azúcar. Existen seis regiones consumidoras de azúcar en el mundo. La primera de ellas se localiza en Asia (integrada por 36 países), con un déficit de 6.3 millones de toneladas y 14.9 kg de consumo anual per cápita.

La segunda región con mayor consumo es la ex Unión Soviética (12 países), con un déficit de 4.8 millones de toneladas. En tercer lugar, se encuentra África del Norte con un déficit de 3.9 millones de toneladas en su consumo de azúcar. En cuarto y quinto lugar se encuentra Norteamérica y Europa con un déficit de 2.8 y 2.4 millones de toneladas, respectivamente.

En Norteamérica, la región deficitaria está integrada por dos países México y los EUA, con una población total de 422 millones de habitantes, quienes mantienen un alto nivel de consumo de azúcar, con relación a su nivel de producción, en términos per cápita el déficit en el consumo de azúcar en esta región asciende a 2.8 millones de toneladas.

Asimismo, con el TLCAN esta región establece un arancel de entre 338 a 360 dólares por tonelada de azúcar importada de fuera de la región, por lo que se trata de un arancel de carácter prohibitivo para importar azúcar de las regiones superavitarias del mundo.

Por lo anterior, la abundancia o escasez de azúcar en ambos países, y una región comercial que limita la participación de terceros, provoca que el precio de azúcar fluctúe ampliamente según la brecha entre producción y consumo, los niveles de inventarios y los flujos de comercio exterior, creando incertidumbre y volatilidad en los precios para los consumidores de azúcar en la región.

Como consecuencia de un mayor consumo con respecto a la producción de azúcar y, por tanto, de un menor nivel de inventarios observado desde el ciclo 2008/2009, a partir de 2009 se registra una tendencia al alza de los precios internacionales. Para el 2010, se acentuó la tendencia al alza de los precios internacionales del azúcar, ya que alcanzaron sus niveles máximos históricos. Los factores clave que afectan el mercado mundial del azúcar pueden ser, de acuerdo con el USDA:

1. La creciente presión sobre los precios del azúcar por caída en la producción de 2008/09, llevando los precios al doble de la media a largo plazo.
2. Mayores costos de producción y el uso creciente de etanol en Brasil (producido a partir de caña de azúcar) sentó las bases para precios más altos.
3. Cambios inducidos por las políticas de producción entre los países asiáticos.

En el período comprendido entre 2000/2001 y 2010/2011, en el mercado internacional del azúcar se comercializó en promedio el 62.2 % de la producción total en los mercados locales. Sin embargo, lo anterior no ha sido una tendencia regular, ya que, en el ciclo 2004/2005, este indicador fue de 65.7 %. En contraste, para el ciclo 2008/2009 el 65.5 % de la producción se dispuso para ser comercializada en los mercados internacionales.

Las exportaciones mundiales de azúcar crecieron a una tasa promedio anual de 3.2 % dentro del período 2000/2001-2010/2011, lo que significa un volumen acumulado de 524,315 miles de toneladas. Los principales países exportadores de azúcar en el mundo, son: Brasil, Tailandia y Australia, la UE-27, y Guatemala, que representaron el 79.4 % de las exportaciones totales en el ciclo 2010/2011. Por su parte, Brasil exportó en ese período 67.2 % de su producción, mientras que Tailandia y México lo hicieron en cerca de 25 %.

Asimismo, en el ciclo mencionado, México ocupó el 7º lugar en las exportaciones mundiales, alcanzando un 2.9 % con respecto al total mundial, siendo el principal destino el mercado de los Estados Unidos. Por su parte, las importaciones mundiales de azúcar se han incrementado a una tasa promedio anual de 2.9 % en el período de 2000/2001 a 2010/2011, alcanzando un total de 51,828 mil toneladas durante este último ciclo.

Los principales importadores de azúcar del mundo (por tamaño de población y/o economía) que consumen más de lo que pueden producir son Estados Unidos, India, Indonesia, Rusia y China, que en conjunto adquieren el 29.6 % de las importaciones mundiales. De estos países, Estados Unidos concentró 6.3 % para 2010/2011, seguida de la Unión Europea, con 6.0 %, e Indonesia, con 5.8 %.

### 3.2.8 Crecimiento demográfico

Se espera que el crecimiento de la población mundial se desacelere a sólo 1 % anual en la próxima década. La desaceleración de la tasa de crecimiento se manifiesta en todas las regiones. No obstante, para 2022 en el planeta habitarán 742 millones adicionales de personas con necesidad de alimentos. Las perspectivas y las dinámicas demográficas son un factor determinante del futuro entorno económico global, afectando tanto la oferta como la demanda de productos agrícolas. En los países miembros de la OCDE, se espera que la población de Japón se reduzca en la próxima década, mostrando una tasa de crecimiento negativo de -0.2 % anual. La población en Europa, incluidos los miembros de la Unión Europea, sigue creciendo pero a una tasa baja y se prevé que disminuya a 0.06 % anual para el año 2022. Turquía, México, Australia y Estados Unidos de América tienen las tasas más altas de crecimiento poblacional proyectado dentro de la zona de la OCDE (OCDE/FAO, 2013).

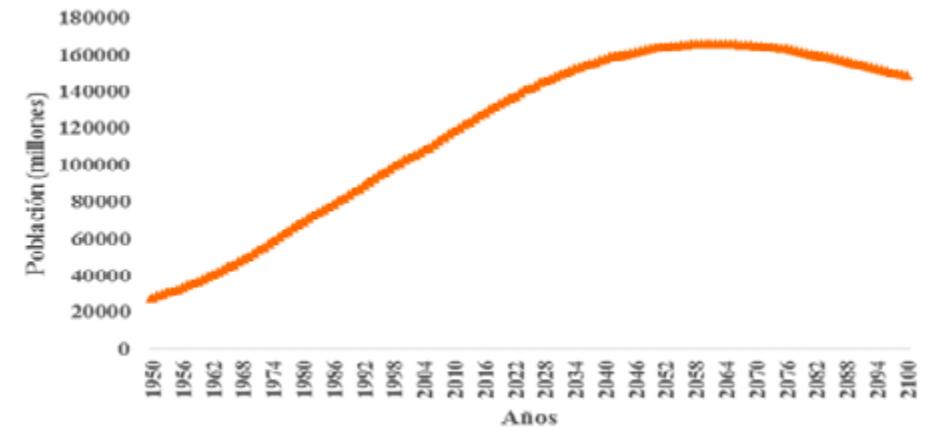
Se prevé que el consumo mundial de azúcar crezca un poco más lento que en la década anterior, para llegar a 204 Mt en 2022-2023. Los países en desarrollo seguirán teniendo el crecimiento más rápido en el consumo, impulsado por el aumento de los ingresos, la urbanización y las poblaciones en crecimiento, aunque con considerables variaciones entre un país y otro. Se espera que las regiones con déficit de azúcar de Asia y África sean responsables de la mayor parte de la expansión del consumo de azúcar en la próxima década, la cual se prevé que aumentará más rápido que el promedio mundial. Se espera que China, sea un consumidor más grande ya que aumentará el consumo de azúcar para la preparación de alimentos, bebidas y fabricación de alimentos relacionados, a fin de cubrir las necesidades de grandes poblaciones urbanas, y que las dietas se occidentalizan con el tiempo. La demanda del azúcar

<sup>12</sup> <http://faostat3.fao.org/download/O/OA/E>

también debería aumentar a medida que la competencia de los edulcorantes intensos y otros edulcorantes calóricos se hace menos intensa y el consumo de azúcar directo de los hogares se expande.

Particularmente en México, de una proyección realizada con información proveniente de FAOSTAT<sup>12</sup>, se espera un crecimiento de la población en los próximos años (Figura 80), con un ritmo cercano al millón de habitantes por año. Este escenario augura un aumento en el consumo de azúcar, pues forma parte de la dieta de todos los estratos de la población. La proyección, realizada hasta el año 2100, permite observar un pico de crecimiento poblacional en el año 2060, punto en el que empieza a reducirse gradualmente el valor poblacional que, sin embargo, para 2100, no es menor a la población actual de nuestro país. Esta información se traduce en un escenario de oportunidad para los productores de caña de azúcar en un futuro.

Figura 80. Escenario predictivo de crecimiento de la población hasta el año 2100 en México.



Fuente: elaboración propia con datos de FAOSTAT (2015)

Se espera también que los precios más altos en México, vinculados con los altos precios de garantía de Estados Unidos de América en un mercado totalmente integrado bajo el TLCAN, fomenten un modesto incremento de la superficie de caña de azúcar y una producción expandida de azúcar. Se prevé que el consumo de azúcar también aumente moderadamente en los próximos años, para llegar a 5.1 Mt en 2022, a medida que los fabricantes de bebidas y alimentos sigan sustituyendo los JMAF de bajo costo, provenientes principalmente de Estados Unidos de América, por el azúcar nacional. Este proceso libera eficazmente al azúcar mexicano para su venta en el mercado de EUA o en mercados de terceros países, siempre que sea rentable hacerlo. No se espera que el consumo de JMAF en México en la próxima década alcance el mismo nivel de penetración que en EUA.

### 3.2.9 Cambio en patrones de consumo

La asociación alimentación–salud, ocurre bajo el supuesto de que conoce los efectos que los alimentos, así como otras prácticas y hábitos alimenticios, ocurren en nuestra salud; las ciencias y los profesionales relacionados a la nutrición nos ofrecen una base de conocimientos científicos sobre los efectos de la alimentación en la salud, a partir de ahí, por diferentes medios, se hacen recomendaciones a la población acerca de qué alimentos se deben consumir, en qué cantidad, la frecuencia y la manera en que deben ser consumidos. Por lo anterior, si la población siguiera dichas recomendaciones, su salud mejoraría considerablemente, por lo tanto, desde cierta perspectiva, el problema radica en la poca difusión de la información, pero principalmente en la educación alimentaria (Díaz & Gómez, 2008). Con frecuencia los programas de televisión y radio, y recientemente los anuncios en distintas páginas de internet, revelan la existencia objetiva de problemas de salud asociados a la alimentación en nuestras sociedades y la existencia de una preocupación social creciente sobre este tema.

El comportamiento del consumo mundial de azúcar depende principalmente del crecimiento de la población, el ingreso, el precio y la demanda de productos sustitutos. La tendencia en el consumo de azúcar a nivel mundial se ha mantenido estable desde el ciclo 2000/2001 a la fecha, mostrando una TMCA de 2.0 % en dicho período. El consumo mundial registrado en el último ciclo azucarero fue de 158.6 millones de toneladas. Para los ciclos 2009/2010 y 2010/2011, el consumo mundial de azúcar se incrementó en 2.4 %, inferior al dinamismo registrado en la producción mundial. En lo que respecta al consumo por países, destacan la India, China, Brasil, Estados Unidos y Rusia, que representaron 45.2 % del consumo mundial para el ciclo 2010/2011. India y Rusia mostraron los mayores aumentos en su demanda 8.5 % y 3.3 % para dicho ciclo, respectivamente.

Por su parte, México consume 2.7 % de la producción mundial, sin embargo, en el último ciclo azucarero su consumo se ha visto reducido en un 5.7 %, a causa de: 1) mayor nivel de precios de este producto, 2) la creciente sustitución de azúcar por fructuosa en el mercado nacional, principalmente por la industria alimentaria del país. La dinámica de producción y consumo mundial de edulcorantes provocó que los niveles de inventarios finales de azúcar se redujeran drásticamente a partir de 2008/2009. En términos absolutos esto significó pasar de 40,505 a 29,240 mil toneladas entre de 2007/2008 y 2008/2009, respectivamente. En la actualidad, los inventarios finales en el mundo no han logrado recuperarse y se sitúan en 29,264 miles de toneladas.

### 3.2.10 Tendencias en consumo de edulcorantes por industria

El patrón de consumo de edulcorantes a nivel nacional se concentra principalmente en el azúcar, y más recientemente en el JMAF y los productos no calóricos

(NC). En general, es complicado precisar el consumo de edulcorantes artificiales, ya que se utilizan en combinaciones no explícitas en los productos de consumo. En el caso del azúcar, ésta se constituye como un producto básico y esencial para la alimentación de la población mexicana de bajos ingresos por su alto contenido energético.

Empero, los bajos índices de competitividad y altos niveles de costos asociados a la industria azucarera han propiciado que la producción de azúcar sea una actividad tradicionalmente protegida y que, entre otras cosas, fomente la subsistencia de ingenios azucareros rezagados tecnológicamente, con altos costos de transformación y deficiencias en su escala de producción. Por su parte, los campos cañeros dedicados a esta actividad se caracterizan por su gran fragmentación, baja productividad y altos costos de cultivo.

Esto último ha conducido a la industria azucarera a enfrentar problemas estructurales como la pérdida en la capacidad para aprovechar sus recursos, articular sus eslabones de transformación, y con ello potenciar su desarrollo. Asimismo, la falta de un adecuado marco normativo y de mejores acciones de política para impulsar su crecimiento han deprimido la actividad azucarera en el país.

Una de las partes fundamentales en el mercado azucarero en México es la distribución del consumo de azúcar. De acuerdo con la información más reciente del CONADESUCA, el estimado del balance azucarero para el 2014/2015 presentó la siguiente estructura: el consumo nacional aparente (4.58 mdt), exportaciones hacia EUA (1.305 mdt), exportaciones al resto del mundo (0.170 mdt) y exportaciones Im-mex (0.144 mdt). En este sentido, otro aspecto fundamental en el mercado azucarero nacional es la acumulación de inventarios. De acuerdo al balance azucarero se estima un nivel de inventarios finales de 764,000 toneladas. Otro aspecto importante en el mercado azucarero nacional es el precio de referencia por tonelada de azúcar, mismo que sirve como referente para el pago de caña de azúcar a los productores nacionales. En la zafra 2012/2013 dicho precio se propuso en 10,617 pesos por tonelada, su precio más alto de los últimos 12 ciclos comerciales. En el último ciclo 2014/2015 se estableció en 7,100 pesos por tonelada, es decir, una disminución en 33.1 % respecto del 2012/2013<sup>13</sup>.

Como resultado, el mercado de azúcar ha perdido participación con respecto al JMAF. El nivel de consumo del JMAF es de 29.7 %, mientras que el azúcar representa el restante 70.7 % para el ciclo 2010/2011. La producción nacional de JMAF ha experimentado un crecimiento promedio anual de 15.6 % durante los ciclos de 2002/2003 a 2010/2011, lo que representa un acumulado de 3,186.7 mil toneladas en el período. La penetración de este edulcorante no sólo se denota en su crecimiento, sino en su participación en la producción a nivel nacional, ya que ha pasado de 3.3 % en 2002/2003 a 8.3 % en 2010/2011. Por su parte, la producción de azúcar ha creci-

<sup>13</sup> Tendencias en el mercado del azúcar (II). Ojeda-Ledesma, JR. El Economista. En <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2015/09/29/tendencias-mercado-azucar-ii>

do a una tasa de 0.6 % en promedio anual en el período de 2002/2003 y 2010/2011, para situarse en un nivel de 5,184 toneladas para este último ciclo.

La producción de azúcar en México se ha mantenido en los últimos años, y su dinámica de crecimiento la ubica en 0.02 % en promedio anual durante el período de 2000/2001-2009/2010. En contraste, la producción de JMAF se ha incrementado a una tasa promedio de 15.6 % anual, y su participación en la producción de edulcorantes en México ha pasado de 3.3 % a 8.3 %. Lo anterior, no sólo es debido a la pérdida de productividad y competitividad de la industria azucarera, sino que también por la presencia y mayor dinámica de crecimiento del JMAF, como producto sustituto en el consumo de edulcorantes en México, principalmente en los sectores de alimentos y bebidas.

El consumo de azúcar disminuyó en los últimos años como resultado de las variaciones en los precios nacionales e internacionales, en la oferta y demanda del azúcar; los cambios en los hábitos de consumo de las personas e insumos para la industria alimentaria, y la presencia de productos sustitutos como el JMAF y los edulcorantes no calóricos.

Para precisar lo anterior, el consumo de azúcar ha caído en 2.7 % en promedio anual para 2002/2003-2010/2011. En cambio, el consumo del JMAF se ha incrementado a un ritmo de 40 % en promedio anual para el mismo período. Comparativamente, el consumo de azúcar pasó de 4,935 mil toneladas en 2002/2003 a 3,950 mil toneladas para 2010/2011.

Para el período 2002/2003, el azúcar representaba el 93.3 % y el JMAF un 2.9 %. Sin embargo, dicha proporción con el tiempo se ha modificado, y a la fecha el JMAF alcanza el 27.3 %. Lo anterior indica la penetración que el JMAF ha tenido en el mercado de edulcorantes en el país, creciendo a un ritmo superior, incluso con respecto a su nivel de producción.

Asimismo, destaca la presencia de los endulzantes no calóricos, que pueden cobrar relevancia en el mercado nacional de edulcorantes si los patrones de consumo se acentúan hacia productos alimenticios con bajos niveles de calorías. Además de lo anterior, esta clase de productos pueden consolidarse en el mercado debido a su “poder edulcorante”. Por ejemplo, la sucralosa es 600 veces más potente que la sacarosa (azúcar) o el aspartame, que es 200 veces más potente con relación a la sacarosa.

El consumo de productos no calóricos ha crecido a una tasa anual de 10.7 %; ocupan, en promedio, el 5.5 % y su nivel de consumo es de 2,898 miles de toneladas en el período de referencia. El consumo de JMAF y otros productos como los no calóricos se han incrementado en los últimos años a una tasa mayor que el consumo de azúcar, logrando consolidarse en más de un cuarto del mercado de edulcorantes en México. Lo anterior también resulta apegado al comportamiento internacional del mercado de edulcorantes, es decir, una gradual penetración y consolidación del JMAF en el mercado que antes ocupaba el azúcar. Esto se caracteriza como un proceso prácticamente irreversible, dado que los niveles de consumo de azúcar no han logrado volver a ocupar su participación en el mercado de edulcorantes.

El comercio exterior de azúcar en México se encuentra enmarcado en la dinámica del TLCAN. El principal destino de las exportaciones mexicanas son los Estados Unidos, que como se ha analizado, representa una importante zona consumidora de azúcar, y cuyas importaciones se encuentran libres de arancel por el TLCAN.

Por su parte, las importaciones de azúcar de México se realizan al amparo de cupos de importación con un arancel preferencial mediante el mecanismo de cupos, con el fin de asegurar el abasto y mantener la estabilidad del precio del azúcar para la industria alimentaria y los hogares. Los principales países de origen de las importaciones de azúcar en México provienen de Centro y Latinoamérica, tales como Guatemala, Nicaragua, Brasil, Colombia, entre otros.

Para el caso del azúcar, la tasa de crecimiento promedio de las exportaciones se ubicó en 66 % para 2002/2003-2010/2011 y, en promedio, el volumen de exportación en el mismo período fue de 518 mil toneladas anuales.

El comercio exterior de edulcorantes se encuentra estrechamente ligado a la dinámica del mercado de los Estados Unidos. En este contexto, las exportaciones de azúcar se dirigen principalmente hacia dicho mercado, dado que su nivel de producción es inferior a su consumo de azúcar e, inclusive, a la oferta exportable de México. Además, se aprovecha la situación arancelaria que se tiene con base al TLCAN.

### 3.2.10.1 Bebidas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) destaca la existencia de una marcada preocupación porque el consumo de azúcares libres (principalmente en bebidas azucaradas) aumente la ingesta calórica general y pueda reducir el consumo de alimentos que contienen calorías más adecuadas desde el punto de vista nutricional, ya que esto provocaría una dieta poco saludable, aumento de peso y un mayor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, como la diabetes, enfermedad que a partir del año 2000 es la primera causa de muerte en mujeres y la segunda en hombres, después de la cardiopatía isquémica (asociado a la diabetes), de acuerdo con la Academia Nacional de Medicina.

En México, a las bebidas azucaradas se les vincula (sin que se haya demostrado de manera contundente y con base en estudios científicos causa-efecto) con más de 24,000 muertes cada año, de hombres y mujeres menores de 45 años. Asimismo, en México, los costos de la diabetes atribuidos al sobrepeso y obesidad representan un costo de entre los 82 y 98 mil millones de pesos, equivalentes a 73 % y 87 % del gasto programable en salud, según cifras del Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (2012).

En este mismo sentido, de acuerdo con el análisis de datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012 (ENSANUT, 2012) presentados en el 16 Congreso de Investigación en Salud Pública (4-6 marzo), en México, entre el 57.8 % y 84.6 % de los individuos, dependiendo el grupo de edad y sexo, tienen un consumo usual inadecuado de azúcares añadidos (por arriba del límite superior recomendado que es mayor que el

10 % del total de energía consumida) a nivel nacional. Al analizar por el tipo de zona (rural o urbana), la proporción de individuos con consumos inadecuados de azúcares añadidos aumenta (rango de 61.9 % a 89.2 % en zonas urbanas y de 46.6 % a 68.7 % en zonas rurales, dependiendo el grupo de edad y sexo).

Por otra parte, el análisis de la ENSANUT 2012 también mostró que el consumo per cápita de azúcares totales fue de 364.5 kcal de las cuales 126.9 fueron azúcares intrínsecos y 237.6 kcal de añadidos. Los azúcares añadidos contribuyeron con un 12.5 % de la ingesta total de energía en la dieta de los mexicanos. Las bebidas azucaradas fueron la principal fuente de azúcares contribuyendo con el 70.3 % de los azúcares añadidos y 54.7 % de los azúcares totales. Mientras que los alimentos con alto contenido en grasa saturada o azúcares añadidos contribuyeron con el 24.8 % y 16.3 % de los azúcares añadidos y totales, respectivamente.

### 3.2.10.2 Alimentos

La alimentación constituye una de las múltiples actividades de la vida cotidiana de los grupos sociales y adquiere relevancia dentro de las ciencias biológicas y socioculturales; es necesario rescatar que la comida no es, y nunca ha sido, una mera actividad biológica (Pérez *et al.*, 2007).

El nombre genérico de los alimentos light (ligeros) fueron implantados en la década de los ochenta. En estos años comenzó a emplearse la sacarina como edulcorante en lugar del azúcar, en alimentos dirigidos a personas diabéticas o que querían bajar de peso. Los primeros alimentos “light” fueron bebidas refrescantes sin azúcar. Durante esta década la ciudadanía comenzó a tomar conciencia de la relación entre salud y alimentación, sobre todo en lo relativo a la obesidad. En consecuencia, los alimentos sin azúcar comenzaron a tener un auge imparable. Se publicitaban y vendían como alimentos a los que se les habían eliminado nutrientes, cuyo aporte excesivo podía tener efectos perjudiciales para la salud de los consumidores (Rottigni y Quiñones, 2008).

Toda una generación de nuevos alimentos cuyo contenido en grasas y azúcares había sido modificado comenzó a hacerse presente en el mercado. Hoy en día estos alimentos reciben diversas denominaciones: “light”, “aligerados”, “ligeros”, “bajos en grasa”, “bajos en azúcar”, “sin azúcar” o “bajos en calorías”. Los alimentos “light” o “sin azúcar” se introdujeron en el mercado como un auténtico descubrimiento que permitía gozar de los placeres gastronómicos. Sin embargo, es importante recalcar que los alimentos light no adelgazan por solo consumirlos, ya que light sólo significa ligero. Así, los alimentos que se etiquetan bajo este título contienen, aproximadamente, un 30 por ciento menos de calorías que sus correspondientes normales. Por lo tanto, la cultura de lo “light” ha generado una especie de confusión universal.

Los productos light no siempre son sinónimos de reducción de peso. Son, simplemente, alimentos cuyos componentes se han modificado, ya sea porque tienen menos

hidratos de carbono o menos grasas. En ocasiones, estos productos no reducen significativamente el aporte calórico. Por esta razón, es muy importante revisar las etiquetas de los productos para identificar cuál fue el nutrimento que se disminuyó<sup>14</sup>.

El mercado de los alimentos light genera miles de millones de dólares al año en países como Estados Unidos, pues el 70 % de la población los consume en su dieta diaria. En Latinoamérica esta cifra es menor pero, sin lugar a dudas, este tipo de alimentos tiene un público que va en aumento, de hecho este mercado crece alrededor de 15 % a 20 % cada año, duplicando su volumen cada cinco, según un estudio realizado por AC Nilsen a nivel de 47 países de Latinoamérica.

En un análisis por género se constata que las principales consumidoras de estos alimentos bajos en calorías son las mujeres de entre 20 y 45 años, las que concentran alrededor del 60 % de las ventas. Este mercado hace sólo cinco años era integrado en 80 % por mujeres, pero esta dominancia ha disminuido debido a la reciente preocupación masculina por la apariencia física, quienes se han integrado como consumidores de estos alimentos.

Las personas que consumen alimentos Light o Diet son principalmente consumidores informados que andan buscando en las etiquetas las especificaciones de los productos. Otro segmento importante de consumo son las personas que sufren alguna deficiencia en la salud, como los diabéticos.

Los diabéticos en Latinoamérica ocupan entre el 5 % y 6 % de la población, de los cuales 3 % siguen dietas controladas; son personas que consumen exclusivamente este tipo de productos, a ellos se suman deportistas, personas naturistas y compradores ocasionales que hacen que las ventas de la categoría se eleven, ya que sólo 5 % de la población consume en forma exclusiva este tipo de alimentos. Se estima que, en el futuro, los consumidores de la categoría van a aumentar y abarcarán todas las edades, producto del aumento de los niveles de obesidad en la población. De los cero a los seis años 10 % de los niños tiene problemas de obesidad, 17 % en enseñanza básica y 25 % de adultos, si esto se suma al sobrepeso normal, da como resultado que cerca de 40 % de la población tiene algún problema y eso es algo que está preocupando a nuestra sociedad (Rottigni y Quiñones, 2008).

### 3.2.10.3 Medicamentos

Experimentos realizados en roedores sugieren que la sacarina, un edulcorante artificial sin poder nutritivo, es carcinogénica sobre la vejiga de ciertas especies. Los estudios epidemiológicos de casos y controles en la especie humana, realizados para examinar esta cuestión, no han dado una respuesta concluyente, pues los resultados han sido discordantes. Para el examen de este problema han sido muy útiles los datos de estadísticas

<sup>14</sup> Los productos light ¿ayudan a bajar de peso? Revista del consumidor, noviembre 20, 2009. Disponible en <http://revistadelconsumidor.gob.mx/?p=5709>

vitales y de incidencia de cáncer obtenidos de registros de tumores. En Estados Unidos las bebidas carbónicas que contienen ciclamatos y sacarina se hicieron muy populares en los años sesenta y setenta. Además, se cree que los diabéticos consumen más edulcorantes artificiales que los no diabéticos. Si estos edulcorantes artificiales fueran causas importantes de cáncer de vejiga, cabría esperar un aumento de la incidencia unos años después de la introducción y de la popularización de las bebidas carbónicas; además, los diabéticos presentarían una mayor incidencia de este tumor que los no diabéticos. El análisis de los datos sobre incidencia de cáncer de vejiga entre la población general y entre los diabéticos no demuestra ningún “efecto del edulcorante artificial” (Stolley, 1993).

Edulcorantes como el manitol, sorbitol o xilitol (usados por ejemplo en chicles, mermeladas, etc.) son hidratos de carbono no asimilables y tienen un efecto de laxantes osmóticos, por lo que pueden interactuar con medicamentos laxantes y los que se eliminan por esta vía. La sacarina ha sido y es un edulcorante muy controvertido por su supuesto efecto carcinogénico. Al margen de esa posibilidad, durante el proceso de fabricación de la sacarina se obtienen subproductos (impurezas) presentes en la misma, como la o-toluenosulfonamida que inhibe la anhidrasa carbónica, produciendo la alcalinización de la orina y dando una significativa interacción con medicamentos excretados por esta vía entre quienes consuman muchos alimentos conteniendo este edulcorante. Respecto al aspartame, es cierto que como consecuencia de su metabolismo se produce metanol (aparte de fenilalanina, ácido aspártico y dicetopiperazina), pero no está demostrado que los niveles de metanol puedan causar una interacción con medicamentos que sufran el metabolismo hepático (pues el metanol es un tóxico hepático). Un ejemplo interesante a tener en cuenta es el del regaliz y sus extractos, principalmente el ácido glicirricínico (es la genina o aglicón del glucósido glicirricina), muy utilizado en bollería y dulces infantiles. Presenta el grave problema de su efecto mineralocorticoide (causa retención de sales y agua) y puede causar una clara interacción con corticosteroides potentes (por ejemplo, usados en asmáticos).

La reciente aprobación por parte de la Unión Europea del empleo del glucósido de la estevia (esteviósido) como edulcorante no ha estado exento de polémica. Ha habido una gran presión por parte de ciertos productores de esta planta (*Stevia rebaudiana*) para que se autorizara no sólo como edulcorante, sino otorgándole ciertas propiedades cuasi milagrosas no demostradas. Pero hay que tener en cuenta el desconocimiento del público sobre este producto, porque quiere usarse como edulcorante de zumos de frutas (y de hecho en España ya se está usando por una conocida marca), algo que podría ser problemático si el glucósido utilizado no está bien purificado y teniendo en cuenta que no es muy comprensible su empleo en estos zumos. La estevia es un diurético que por ejemplo interactúa con las sales de litio en su excreción renal. También produce una significativa interacción con fármacos hipoglucemiantes (efecto sinérgico muy marcado) así como con medicamentos antihiper-tensivos, presentando también sinergia con ellos. Además se ha informado de casos de interacción clínicamente significativa con el verapamilo (Esteban, 2013).

### 3.2.10.4 Confeitería y otros

La confitería se caracteriza por su consumo generalizado; en los países más industrializados, más del 90 % de la población compra dulces con regularidad; de hecho, la confitería es el primer tipo de “alimento ocasional”, por lo que es un producto que no necesita preparación y puede comerse como una refacción (ALIADOS, 2007).

La industria mexicana de confitería está integrada por aproximadamente 1,500 empresas, que varían desde establecimientos familiares pequeños ubicados en caminos rurales hasta grandes compañías con oficinas internacionales (ALIADOS, 2007). Se estima que el 60 % de la producción de la industria del dulce en México está concentrada en el estado de Jalisco; entre las principales empresas del estado, de acuerdo a su tamaño, destacan: Dulces de la Rosa, Dulces Vero, Montes y Compañía, Ángel Ibarra y Compañía, Distribuidora de Dulces Ibro, entre otras.

En los últimos años, la importación de dulces ha tenido un efecto negativo en las empresas locales: 40 % de las empresas registró un descenso en sus ventas y, en consecuencia, el 23.3 % de estas empresas ha reducido su producción y 16.70 % su personal. Asimismo, las compañías transnacionales más importantes a las que se han tenido que enfrentar las mexicanas son: Nestlé, Hershey’s, Cadbury Schweppes, Ferrero, Ricolino, Turín, Pepsico, Tutsi Pop, Canels, Warner Lambert, Adams, Trident y Efferm.

En algunas ramas de la industria confitera en México, el aumento en los precios del azúcar ha golpeado los índices de competitividad de dulces y chocolates hechos en el país, tanto en el ámbito doméstico como en el internacional. Pero aún en estas circunstancias, el éxito de la industria se debe fundamentalmente a la gran variedad de productos que se fabrican en México. Por su parte, la distribución juega también un papel importante, por lo menos en lo que hace al mercado mexicano. Los mayoristas se encargan de colocar las golosinas en diferentes puntos de venta como expendios, depósitos, tiendas supermercados, colegios y en infinidad de puestos callejeros.

La mayoría de consumidores de productos de confitería son niños ubicados en el rango de 6 a 12 años, que cursan el nivel primario de educación, debido a que están cerca del canal escuela, parques, centros de diversión para niños, cines, etcétera.

El segmento infantil, en la actualidad, es un mercado que requiere de innovación y creatividad debido a que los niños son muy sensibles a los valores agregados y le dan mayor aceptación.

Los alimentos que contienen edulcorantes de bajas calorías pueden aportar menos calorías que los alimentos preparados con azúcar y otros edulcorantes calóricos. Esto puede ayudar a personas que intentan perder peso o evitan recuperar peso. Los edulcorantes de bajas calorías son útiles para agregar sabor o dulzor a sus comidas, y aportan pocas calorías adicionales o ninguna. Se puede experimentar con diversas recetas e incluir edulcorantes de bajas calorías y de contenido calórico reducido. En aquellos alimentos en que el azúcar es la principal fuente de energía, como las bebidas,

los edulcorantes bajos en calorías ayudan a situar la densidad energética cerca de un contenido insignificante de calorías. En cambio, el azúcar es sólo uno de los ingredientes de los alimentos con densidad energética media o alta. Por ello, en los alimentos con alta densidad energética como el chocolate, sustituir el azúcar por edulcorantes bajos en calorías supone reducciones de energía relativamente menores. Aunque el consumo de edulcorantes bajos en calorías por sí mismo no da como resultado una rápida pérdida de peso, puede facilitar el cumplimiento de la dieta a largo plazo mejorando la diversidad, variedad general de una dieta con menor contenido energético (Amaya, 2012).

### 3.2.11 Análisis de costos por industria

Se efectuó la búsqueda exhaustiva de empresas comerciales consumidoras y comercializadoras de productos edulcorantes. Dentro de la muestra de 1,144 sucursales de siete importantes firmas comerciales, distribuidas en todo el país (Figura 81), se consultaron los precios de 4,312 productos ofertados en las tiendas, categorizados en alimentos, bebidas, medicamentos y confitería y otros. Partiendo de dicha información, se promediaron los precios de los productos para efectuar el análisis de costos del presente apartado.

Figura 81. Distribución de las principales tiendas de autoservicio en la república mexicana.



Fuente: elaboración propia.

#### 3.2.11.1 Bebidas

México y Estados Unidos son países que presentan los más altos índices de obesidad en niños y adultos, asociado también a un elevado consumo de bebidas carbonatadas. Un estudio de la Universidad de Yale en Estados Unidos, reporta que un

mexicano promedio bebe 163 litros al año, lo que representa medio litro al día. Entre los datos más relevantes de la investigación, se encontró que el consumo de bebidas es la principal fuente de calorías de la dieta, ya que en promedio se ingiere 50 gramos de azúcar equivalentes a 200 kilocalorías extras (Rodríguez-Burelo *et al.*, 2014).

Dentro de la muestra correspondiente a bebidas, tal como se especificó previamente, el precio promedio para un refresco de Coca-Cola de 600 ml es de \$11.00, con un aporte calórico de 252 kcal por el total del producto. El contenido de azúcar es muy alto, pues el volumen del envase equivale a tres raciones, correspondientes a 63 g de azúcar. El consumo de azúcares en México se encuentra muy por encima de la nueva directriz desarrollada por la OMS, por lo que es necesario fortalecer la regulación actual, la promoción de estilos de vida saludables, así como la creación de políticas públicas que propicien opciones de alimentación saludables. Es importante recalcar que en el producto en mención, no se especifica el tipo de edulcorante empleado, la etiqueta sugiere que son azúcares (Figura 82, inciso a), pero el término plural permite suponer que no sólo se emplea azúcar, sino alguna mezcla con algún otro edulcorante no definido.

Figura 82. Etiquetas del mismo producto en dos países. a) Etiqueta de Coca-Cola en México; b) Etiqueta de Coca-Cola en Brasil. Note que en el caso del producto de Brasil, el ingrediente azúcar se encuentra en singular, caso contrario con el producto mexicano.



Analizar las etiquetas de los productos nacionales y compararlas con la misma presentación, pero en un país distinto, nos ofrece como principal diferencia que es necesario regular la información que se le proporciona al consumidor, por ejemplo el producto del inciso b) (ver Figura 82) está endulzado con azúcar. Una de las principales empresas productoras de bebidas ofrece información ambigua y confusa al consumidor (Tabla 46).

Tabla 46. Cuadro comparativo de la información de edulcorantes empleados en el mismo producto en dos países, México y Brasil.

Producto	Edulcorantes descrito en etiqueta	Porción	Tamaño de porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de azúcar por envase	Contenido calórico	Precio
Coca-Cola (MEX)	Azúcares	3	200 ml	Azúcar (21 g)	63 g	84 kcal / porción	\$11.00
Coca-Cola (BRA)	Azúcar	1	250 ml	Azúcar (27 g)	27 g	106 kcal (451 kJ)	R\$1.59
Coca-Cola Zero (MEX)	Mezcla de aspartame potásico	2	200 ml	Mezcla de aspartame potásico (40mg/100g)	N/A	0 kcal (0kJ)	\$6.50
Coca-Cola Zero (BRA)	Ciclamato, acesulfame de potasio, aspartame	2.5	250 ml	Ciclamato (27 mg/100 ml), Acesulfame (15 mg/100 ml), Aspartame (12 mg/100 ml)	Ciclamato (67.5 mg), Acesulfame (37.5 mg), Aspartame (30 mg)	0 kcal (0kJ)	R\$1.59
Pepsi (MEX)	Azúcares (Azúcar y/o Jarabe de maíz)	Por envase	355 ml	Azúcar (40 g)	40 g	160 Cal (680 kJ)	\$7.5
Pepsi (BRA)	Azúcar	Por envase	355 ml	Azúcar (39 g)	39 g	155 kcal (651 kJ)	R\$1.69

Fuente: elaboración propia.

Grupo Pepsico en México, señala como ingredientes azúcares y/o jarabe de maíz, lo que para un consumidor que se interese en los alimentos que consume, puede provocar que dude de la proporción en la que se encuentre. De antemano sugiere una mezcla entre azúcar y otro elemento, sin embargo, surge la duda si se compone de la mezcla de azúcar con el JMAF o bien está endulzado sólo con el JMAF (Figura 83).

Figura 83. Productos Pepsi. a) Etiqueta de Pepsi en México. b) Etiqueta de Pepsi en Brasil. Note que en el caso del producto identificado con b), el elemento edulcorante es azúcar, para el caso del primero es “Azúcares y/o Jarabe de maíz”.



Al comparar los productos elaborados con azúcar y otros edulcorantes se efectúa un análisis de precios y costos de los productos, endulzados con diferentes edulcorantes. La comparación de precios, al incluir productos de otro país, se efectúa con la tasa de cambio de referencia mostrado por Banxico<sup>15</sup> en el mes de febrero de 2016, esto es de 4.5436 pesos por real brasileño (Tabla 47).

<sup>15</sup> <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA113&sector=6&locale=es>

Tabla 47. Descripción de edulcorantes para productos de bebida, contenido calórico y costos de producto y litro de producto.

Producto	Edulcorantes descritos en etiqueta	Porción	Tamaño de porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de azúcar por envase	Contenido calórico	Precio	Precio Litro
Coca-Cola (MEX)	Azúcares	3	200 ml	Azúcares (21 g)	Azúcares 63 g	84 kcal	\$ 11.00	\$ 18.33
Coca-Cola (BRA)	Azúcar	1	250 ml	Azúcar (27 g)	Azúcar 27 g	106 kcal (451 kJ)	R\$ 1.59	\$ 28.90
Coca-Cola Zero (MEX)	Mezcla de aspartame potásico	2	200 ml	Mezcla de aspartame potásico (40mg/100g)	Mezcla de aspartame potásico (160mg)	0 kcal (0 kJ)	\$ 6.50	\$ 16.25
Coca-Cola Zero (BRA)	Ciclamato, acesulfame de potasio, aspartame	2.5	250 ml	Ciclamato (27 mg/100 ml), Acesulfame (15 mg/100 ml), Aspartame (12 mg/100 ml)	Ciclamato (67.5 mg), Acesulfame (37.5 mg), Aspartame (30 mg)	0 kcal (0kJ)	R\$ 1.59	\$ 28.90
Pepsi (MEX)	Azúcares (Azúcar y/o Jarabe de Maíz)	Por envase	355 ml	Azúcares y/o JMAF (40 g)	Azúcar y/o JMAF 40 g	160 Cal (680 kJ)	\$ 7.50	\$ 21.13
Pepsi (BRA)	Azúcar	Por envase	355 ml	Azúcar (39 g)	Azúcar 39 g	155 kcal (651 kJ)	R\$ 1.69	\$ 21.63
Peñañiel manzanita (MEX)	Mezcla Acesulfame K/ Sucralosa	3	200 ml	Mezcla Acesulfame K/ Sucralosa (32 mg/100 g)	Acesulfame K/ Sucralosa 192 mg	4 cal (17 kJ)	\$ 9.50	\$ 15.83
Jarritos (MEX)	Jarabe de Maíz de Alta Fructosa	7.5	200 ml	Jarabe de Maíz de Alta Fructosa (15 g)	Jarabe de Maíz de Alta Fructosa (112.5 g)	60 cal (255 kJ)	\$ 12.31	\$ 8.21
Sidral Mundet light (MEX)	Mezcla Aspartame y Acesulfame K	3	200 ml	Mezcla Aspartame y Acesulfame K (35 mg/100 g)	Mezcla Aspartame y Acesulfame K (175 mg)	0 cal (0 kJ)	\$ 7.37	\$ 12.28
Pau-Pau (MEX)	Sucralosa, Neotame	Envase	250 ml	Sucralosa (25 mg/100 g), Neotame (0.1 mg/100 g)	Sucralosa (62.5 mg), Neotame (0.25 mg)	8 cal (34 kJ)	\$ 4.00	\$ 16.00
Guaraná Antártica (BRA)	Azúcar	3.00	200 ml	Azúcar (20 g)	Azúcar (60 g)	83 kcal (349 kJ)	\$ 2.65	\$ 20.07
Boing (MEX)	Azúcar	1.25	200 ml	Azúcar (19 g)	Azúcar (23.75 g)	76 kcal (323 kJ)	\$ 4.50	\$ 18.00
Jumex (MEX)	Azúcares Jumex R	Envase	180 ml	Azúcares Jumex® (20 g)	Azúcares Jumex® (20 g)	80 cal (340 kJ)	\$ 4.50	\$ 25.00
Boost (MEX)	Azúcar	1.175	200 ml	Azúcar (17.7 g)	Azúcar (20.8 g)	92.9 kcal (394.7 kJ)	\$13.36	\$ 56.85

Fuente: elaboración propia.

Con solo ordenar la información en una tabla como la anterior, el lector podrá percatarse de lo siguiente:

- Los edulcorantes descritos en la etiqueta, la mayoría de los productos señalados describen sus elementos endulzantes, pero algunos lo describen como “azúcares” en general.
- Los promedios para las combinaciones de edulcorantes de la etiqueta pueden obtenerse calculando la media de los productos que contienen cada edulcorante, así por ejemplo: el definido por “azúcares” tiene un promedio de precio por litro de \$21.49, edulcorantes distintos al azúcar es de \$18.7 por litro de refresco, las mezclas de edulcorantes es de \$14.71 por litro y finalmente el precio promedio por litro de producto endulzado con azúcar, es de \$22.15.
- Ambigüedades en la definición de los valores de la equivalencia energética, puesto que algunos productos emplean las unidades “kcal” y otros simplemente “cal”, variando como en el caso de Pepsi, peñañiel, manzanita, Jarritos, Pau-pau y Júmex. Estos productos, considerados populares, sin contar con otros tantos productos que asumen que el consumidor pocas veces acude a revisar las etiquetas.

Se observa que las bebidas que emplean como base edulcorantes diferentes al azúcar presentan costos por litro más bajos, situación que probablemente influya en los productos que señalan “azúcares”, pues la mezcla les permite competir en un mercado comercial sin necesidad de especificar el elemento edulcorante (Figura 84).

Figura 84. Precios de bebidas por litro de producto expendido. Nota: el análisis no considera la presentación del producto.



Fuente: elaboración propia.

Llama la atención la diferencia en los precios por producto de Coca-Cola en México y Brasil, mientras que en México, de acuerdo al análisis realizado, el costo del producto por litro es de \$18.33, en Brasil su costo es de \$28.9; mientras tanto, el caso de Pepsi, en México presenta un costo de producción de \$21.13 y en Brasil de \$21.63 por litro de producto, prácticamente, equivalentes. Jarritos es el producto que presenta el valor más bajo en precio por litro, la sustancia que reporta en la etiqueta como edulcorante es el JMAF, esto coincide con el comportamiento esperado del mercado, pues los costos de producción empleando azúcar son mayores que empleando sustitutos, esto por el volumen de materia prima empleada.

Otro elemento que llama la atención es el precio al que es ofertado el producto Coca-Cola Zero, las bebidas basadas en edulcorantes distintos al azúcar, en promedio se ofertan a \$18.70 por litro de producto, sin embargo, este producto se comercializa a una razón de \$30.00 por litro de producto, principalmente por tener un mercado dirigido y por la percepción generalizada del tipo de producto que se ofrece al consumidor, lo que significa que el consumidor asume que es un producto de élite y por razones de salud y estética es orillado a pagar más por un producto que, en teoría, debería ser ofertado a un precio menor que los endulzados con azúcar.

### 3.2.11.2 Alimentos

Para ilustrar el análisis de costos de los edulcorantes en los alimentos, se elaboraron tres tablas comparativas de diversos productos alimenticios que se consumen de forma cotidiana por la población mexicana. La primera comparación se efectuó con galletas, los datos de contenido de azúcar y otros edulcorantes se extrapolaron a kg para conocer el precio por kg de producto en ese escenario.

A continuación, se efectuó la comparación de jarabes sabor maple, considerando los productos que emplean azúcar, JMAF y edulcorantes artificiales como edulcorantes dietéticos. Finalmente, se compararon algunas gelatinas, alimento muy utilizado en programas de dietas y alimentos saludables, además, aparecen de manera frecuente en fiestas infantiles y comidas en hospitales.

Los resultados son muy contundentes indicando la fuerte presencia de JMAF y sucralosa en casi todos los productos, pese a que la sacarosa sigue estando presente (Tabla 48).

Tabla 48. Productos alimenticios (galletas) endulzados con diferentes productos, comparados con precios respectivos y extrapolados a precios por kg.

Producto	Edulcorantes descrito en etiqueta	Porción	Tamaño de porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de azúcar por envase	Contenido calórico	Precio	Precio kg
Ricanelas	JMAF, Azúcar	3.76	30 g	JMAF: N/A, Azúcar: 8 g	JMAF: N/A, Azúcar: 30.13 g	137 Cal (576 kJ)	\$ 10.00	\$ 88.65
Chokis	Azúcar, JMAF	10.5	30 g	Azúcar: 11 g, JMAF: N/A	Azúcar: 115.5 g, JMAF: N/A	138 Cal (579 kJ)	\$ 19.90	\$ 63.17
Deliciosas	Azúcar, JMAF	3	30 g	Azúcar: 7 g, JMAF: N/A	Azúcar: 21 g, JMAF: N/A	120 Cal (522 kJ)	\$ 6.00	\$ 66.67
Mariás	Azúcar, jarabe	5	30 g	Azúcar: 7.8 g, Jarabe: N/A	Azúcar: 39 g, Jarabe: N/A	120.75 kcal (510.75 kJ)	\$ 4.75	\$ 31.67
Marianitas	Azúcares	6.2	30 g	Azúcares: 6 g	Azúcares: 37.2 g	116 Cal (488 kJ)	\$ 7.50	\$ 40.32
Maravillas	Azúcar, JMAF	3.9	30 g	Azúcar: 8 g, JMAF: N/A	Azúcar: 31.2 g, JMAF: N/A	132 Cal (556 kJ)	\$ 7.00	\$ 59.83
Napolitanas	Azúcar	7.1	28 g	Azúcar: 11.9 g	Azúcar: 84.49 g	141.1 kcal (591.8 kJ)	\$ 8.00	\$ 40.24

Fuente: elaboración propia.

Las etiquetas de los productos comparados señalan la cantidad de azúcar presente en el producto, sin embargo, no especifican la cantidad de JMAF contenida en cada porción de alimento, lo que se traduce en desinformación hacia el consumidor, al no tener claro si el alimento contiene azúcar u otro tipo de edulcorante.

Casualmente, el producto que define “azúcares” en su etiqueta, tiene el menor precio por kg de producto (Tabla 49).

En promedio, cada porción de galletas contiene 8.5 g de azúcar, sin contar los otros edulcorantes empleados en el producto. El aporte energético promedio por porción corresponde al orden de 546.22 kJ. El precio promedio por cada kilogramo de producto es de \$55.8, con un rango que tiene un mínimo de \$31.67 hasta un máximo de \$88.65, llama la atención que el producto con precio más bajo por kg está endulzado, de acuerdo a su etiqueta, con “Azúcar y jarabe” (sic), en contra parte, el precio más alto está endulzado con JMAF y azúcar.

El jarabe o miel de maple es un dulce fabricado a partir de la savia del arce. Usualmente se combina con crepas, aunque también puede ser usado como ingrediente para horneados y en la preparación de postres. Al ser un producto 100 % natural y beneficioso para el ser humano, es uno de los principales productos sustitutos de la miel de abeja (Falquez, 2014), sin embargo, en México se comercializan muchos productos con sabor a maple o sustitutos. Se encuentra presente en infinidad de desayunos, postres y en general distintos alimentos, además, al ser un producto sustituto, se emplean para su elaboración, edulcorantes distintos al azúcar, razón por la cual se eligió como producto para efectuar la comparación.

Tabla 49. Jarabes sabor maple, análisis comparativo por tipo de edulcorante y contenido calórico.

Producto	Edulcorantes descritos en etiqueta	Porción	Tamaño de porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de azúcar por envase	Contenido Calórico	Precio	Precio Litro
Karo Maple	Glucosa de maíz, JMAF	22.7	15 g	Azúcares: 11 g	Azúcares: 249.7 g	44 kcal (187 kJ)	\$20.70	\$ 60.79
Jarabe Sabor Maple Great Value	Glucosa	17.5	14.29 ml	Azúcares: 10 g	Azúcares: 175 g	60 kcal (255 kJ)	\$14.00	\$ 55.98
Jarabe Sabor Maple Promesa	JMAF, Azúcar	20	15 ml	Azúcares: 13 g	Azúcares: 260 g	52 kcal (221 kJ)	\$15.90	\$ 53.00
Jarabe Sabor Maple Promesa Light	JMAF, Azúcar	20	15 ml	Azúcares: 4.5 g	Azúcares: 90 g	26 kcal (110.5 kJ)	\$ 19.50	\$ 65.00
Jarabe Sabor Maple Promesa Sugar Free	Sucralosa	20	15 ml	Sucralosa: N/A	Sucralosa: N/A	0 kcal (0 kJ)	\$ 29.50	\$ 98.33

Fuente: elaboración propia.

En los jarabes sabor maple comparados en la tabla anterior, se observa nuevamente la ambigüedad en los edulcorantes empleados en la elaboración y manufactura del producto. La glucosa de maíz, a la que hacen referencia los productos, probablemente haga alusión al JMAF, así, los productos sabor maple, en promedio, tienen 11.33 g de azúcar por porción (una cucharada de 15 ml o 15 g de producto). El producto light reportado sugiere 4.5 g de azúcar en la porción, y el caso del producto “sugar free” señala como contenido de azúcar con valor de 0. No obstante, no menciona la concentración de sucralosa empleado en el producto. De igual manera, los productos endulzados con JMAF, glucosa y azúcar, en promedio tienen un aporte

calórico de 52 kcal por porción, esto es, 221 kJ por porción. La diferencia es amplia respecto al producto light: cerca de 50 % de diferencia.

Respecto a los precios ofertados, al extrapolarlos a unidades de volumen en litro se observa que el mayor precio se encuentra, al igual que las bebidas light o bajas en calorías, es decir, en el producto “sugar free”, con un precio de hasta \$98.33 por litro de producto. Mientras tanto, el precio más bajo se observa en el producto sabor maple endulzado con JMAF y azúcar, con \$53.00 por litro de producto.

Se esperaría que a mayor uso de azúcar, el precio del producto sería mayor, sin embargo, ocurre lo contrario, esto por las tendencias y moda en los hábitos de consumo actuales. Una tercera comparación se efectúa con las gelatinas, alimento que se emplea con frecuencia como agente terapéutico en casos de alimentación infantil y en pacientes con problemas digestivos, con úlceras pépticas, desórdenes musculares, y para favorecer el crecimiento de las uñas (Martínez, 2012), además se presenta frecuentemente como parte de la repostería o aperitivo en fiestas y comidas (Tabla 50).

Tabla 50. Análisis comparativo de gelatinas endulzadas con diferentes edulcorantes y su contenido energético.

Producto	Edulcorantes descritos en etiqueta	Porción	Tamaño de porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de azúcar por envase	Contenido calórico	Precio	Precio Litro
Sayes Gelatina	Azúcar, Aspartame, Acesulfame K	11.1	10.8 g	Azúcar(9.7 g), Aspartame (0.15g/100g), Acesulfame K (0.06g/100g)	Azúcar (107.67 g), Aspartame (0.18g), Acesulfame K (0.072 g)	48.8 kcal (207.4 kJ)	\$ 7.00	\$ 58.39
Flan Pronto	Azúcar, Acesulfame K, Sucralosa	8	120 g	Azúcar (12.5g), Acesulfame K (0.15g/100g), Sucralosa (0.07g/100g)	Azúcar (100 g), Acesulfame K (1.44 g), Sucralosa (0.672 g)	109.02 kcal (458.64 kJ)	\$ 8.65	\$ 9.01
D'Gari light Gelatina	Aspartame, Acesulfame K	7.85	130 g	Aspartame (2.5g/100g), Acesulfame K (1.1g/100g)	Aspartame (25.5125 g), Acesulfame K (11.2255g)	7.6 kcal (32.3 kJ)	\$ 9.00	\$ 8.82
Frutevia Jelly	Niutevia	7.88	130 g	Niutevia: N/A	Niutevia: N/A	8.6 kcal (35 kJ)	\$10.00	\$ 9.76
Gelatina Pronto Light	Sucralosa	8	130 g	Sucralosa: 1g/100g	Sucralosa: 10.4 g	11.7 kcal (49.76 kJ)	\$ 8.00	\$ 7.69

Fuente: elaboración propia.

Un hallazgo importante en este análisis comparativo fue que la mayoría de las gelatinas señala la porción, no en volumen en polvo, sino en el volumen de gelatina que se puede producir con dicho polvo. Además, la mayoría de los productos señalan el tipo de edulcorante empleado, sobresaliendo la mezcla de azúcar con aspartame y acesulfame-k. Recientemente, en productos light se ha incorporado la sucralosa y la estevia.

El precio promedio del producto es de \$8.53 por cajita en presentaciones individuales. El tamaño de porción promedio es de 130 g (se omite el valor de gelatina Sayes). Para el caso de los productos que reportan el uso de azúcar, su promedio es de 11.1 g por ración. El promedio de los edulcorantes aspartame y acesulfame-k es de 0.93 g/100 g y 0.41 g/100 g, respectivamente. El precio promedio de los productos (omitiendo el valor tan alto de gelatina Sayes) es de \$8.82 pesos por kg de gelatina producida por cada sobre. Las presentaciones de los productos dirigidos a un mercado de consumidores light o saludables (estevia) presentan los valores de venta más altos.

### 3.2.11.3 Medicamentos

En análisis de costos en los medicamentos se ejemplificó con el análisis comparativo de anticonceptivos orales que se ofertan en farmacias de México. Los métodos anticonceptivos se utilizan para regular la capacidad reproductiva de un individuo o una pareja con el fin de evitar embarazos no deseados (Carbajal, 2014) (Tabla 51).

Tabla 51. Análisis comparativo de medicamentos que emplean edulcorantes distintos al azúcar.

Producto	Edulcorante descrito en etiqueta	Porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de edulcorante por envase	Contenido calórico por porción	Precio producto
Yasmin	Lactosa	Tableta	Lactosa (46 mg)	N/A	N/A	\$ 262.90
Yasmin CD	Lactosa	Tableta	Lactosa (46 mg)	N/A	N/A	\$ 242.90
Yaz	Lactosa	Tableta	Lactosa (50 mg)	N/A	N/A	\$ 238.44
GYNERA	Lactosa	Tableta	Lactosa (36 mg)	N/A	N/A	\$ 13.09
GYNERA 75/20	Lactosa	Tableta	Lactosa (35 mg)	N/A	N/A	\$ 13.09
TRIQUILAR	Lactosa	Tableta	Lactosa (31 mg)	N/A	N/A	\$ 195.68

Fuente: elaboración propia.

Los métodos anticonceptivos hormonales orales son sumamente eficaces, aunque algunos requieren uso correcto y sistemático por parte de las mujeres, también son seguros. Sin embargo, dado que las hormonas pueden tener efectos en diversos sistemas del cuerpo, se debe prestar atención especial a los efectos secundarios y a las cuestiones de seguridad (Carbajal, 2014). Al ser orales, es importante que sea agradable al paladar, por lo que principalmente para su confección se emplea un edulcorante que favorezca la ingesta del producto.

Los resultados de la comparación señalan lo siguiente: la lactosa es el principal edulcorante empleado en los productos; la cantidad de lactosa promedio empleado en los medicamentos es de 40 mg por tableta; ninguna envoltura de los productos analizados reportan el contenido energético o calórico y el precio promedio (omitiendo Gynera y Gynera 75/20), es de \$234.98 por presentación.

No se encontraron productos anticonceptivos orales que emplearan otro edulcorante, por lo que no fue posible comparar por tipo de edulcorante empleado.

### 3.2.11.4 Confitería y otros

Se analizaron tres tipos de productos, ordenados en una sola tabla. El primer grupo de productos son los chocolates; el segundo, paletas de caramelo, y el tercero, los chicles. La elección de los productos ocurrió por la presencia de los productos en una gran cantidad de negocios y tiendas de conveniencia.

En años recientes se ha incrementado la preocupación acerca del papel que las golosinas juegan en la alimentación infantil. Estudios recientes sugieren diferentes terminologías para englobar en el concepto de golosina a todos aquellos alimentos industriales, nutricionalmente desbalanceados y con un alto contenido de hidratos de carbono, grasas o sal. Algunos estudios incluyen golosinas y otros tipo de ingredientes y alimentos bajo el concepto de “densos de energía y pobres en nutrientes” o “altos en calorías y de baja densidad de nutrientes” o “alimentos que contribuyen a la ingesta energética” (Nonoal, 2011) (Tabla 52).

Tabla 52. Productos de confitería comparados por precio y tipo de edulcorante utilizado en su elaboración.

Producto	Edulcorante descrito en etiqueta	Porción	Tamaño de porción	Contenido edulcorante Porción	Contenido de edulcorante por envase	Contenido calórico por porción	Precio producto	Precio kg producto
Paleta Payaso	Azúcar, glucosa, jarabe de maíz, sorbitol	1	45 g	Azúcares (24 g), sorbitol (1g/100g)	Azúcares (24 g), sorbitol (0.45g)	170 Cal (717 kJ)	\$ 7.49	\$ 166.44
Milch	Azúcar, JMAF	1.6	25 g	Azúcares 13 g	Azúcares 20.8 g	126 Cal (528 kJ)	\$ 10.00	\$ 250.00
Snickers	Azúcar, jarabe de maíz	1	52.7 g	Azúcares 28 g	Azúcares 28 g	250 kcal (1048 kJ)	\$ 13.35	\$ 253.32
Larín	Azúcar	1	24 g	Azúcar 12.5 g	Azúcar 12.5 g	132 kcal (548kJ)	\$ 10.00	\$ 416.67
Carlos V	Azúcar	1	20 g	Azúcares 12.4 g	Azúcares 12.4 g	98 kcal (412 kJ)	\$ 8.00	\$ 400.00
Kinder sorpresa	Azúcar	1	20 g	Azúcares 10 g	Azúcares 10 g	111 kcal (460 kJ)	\$ 17.80	\$ 890.00
Rockaleta	Azúcar, jarabe de maíz	1	24 g	Azúcar 19 g	Azúcar 19 g	84 cal (357kJ)	\$ 4.00	\$ 166.67
Bomba Chile	Azúcar, glucosa	1	15 g	N/A	N/A	N/A	\$ 2.00	\$ 133.33
Trident	Maltitol, sorbitol, manitol, xilitol, aspartame, acesulfame, sucralosa	2	2.6 g (2 piezas)	Maltitol (30g/100g), sorbitol (29g/100g), manitol (3g/100g), xilitol (1g/100g), aspartame (0.6g/100g), acesulfame (0.2g/100g), sucralosa (0.2g/100g)	N/A	0 kcal (0 kJ)	\$ 2.00	\$ 384.62
Bubbaloo	Azúcar, JMAF	1	5.5 g	N/A	N/A	16 kcal	\$ 1.00	\$ 181.82
Orbit	Sorbitol, maltitol, aspartame, acesulfame	2	2.7 g (2 piezas)	Sorbitol (39g/100g), maltitol (29g/100g), aspartame (345mg/100g), acesulfame(187mg/100g)	N/A	5 kcal (21 kJ)	\$ 2.00	\$ 370.37

Fuente: elaboración propia.

Al analizar los chocolates que se comercializan en el mercado nacional, se observó que en todos, más de la mitad del peso total de la porción corresponde a azúcares; su contenido energético es, en promedio, de 618.83 kJ, y el precio promedio por producto es de \$11.11. Lo que resulta más llamativo es la información de etiqueta,

la cual describe que al extrapolar el precio de venta de un producto al menudeo a una unidad comparable como es el kilogramo, el lector podrá percatarse que en aquellos que reportan al azúcar como elemento edulcorante, los precios son los más altos. El precio máximo por kg de producto es de \$890.00 para Kinder Sorpresa, el cual sólo especifica que está endulzado con azúcar, pero con un precio muy alto por producto, dada la presentación y el hecho que ofrezca un producto plástico “sorpresa” para los niños. El valor por kg más bajo (\$166.44), corresponde a la paleta Payaso, el cual reporta estar endulzado con azúcar, glucosa, JMAF y sorbitol, este último un edulcorante sintético de alta intensidad. Pese a que se reporta el hecho de estar endulzado con azúcares, JMAF y glucosa, no se especifican el contenido total de cada edulcorante, lo engloban dentro del rubro “azúcares”.

En el caso de las paletas de caramelo, éstas tienen un precio promedio de \$3.00 por producto, las porciones son variables y uno de los productos no reporta en su etiqueta la cantidad de azúcar contenida. La cantidad de azúcares (azúcar y JMAF) reportada en la Rockaleta es de 19 g, para un producto que pesa 24 g.

El tercer análisis ofrece resultados aún más sorprendentes, los chicles, productos que se comercializan en casi la totalidad de establecimientos en el país, cuentan con algún edulcorante de alta intensidad, además del azúcar. El Trident, ofrecido como un producto libre de calorías y con baja probabilidad de producir caries en los dientes, combatiente del mal aliento y demás, contiene siete edulcorantes en los ingredientes que lo componen, cada edulcorante en una proporción definida para cada 100 g de producto. El chicle Orbit menciona cuatro edulcorantes de alta intensidad y el Bubbaloo, señala sólo dos, es el único que menciona al azúcar y al JMAF como endulzantes. Se resalta el precio al público, pues Trident y Orbit tienen un precio que duplica al que está dado para Bubbaloo, probablemente por su mayor difusión como producto libre de calorías.

Algunas consideraciones generales del apartado de confitería es que en los productos que se encuentran en los anaqueles y estantes de los negocios en México no se define la proporción de que corresponde a JMAF en los “azúcares”, lo que impacta directamente en la imagen del azúcar como producto, lo aleja de los beneficios que tiene su consumo y lo asocia con problemas de sobrepeso y obesidad por el contenido calórico. Cabe señalar que un producto de amplio consumo para un sector medio bajo, como lo es la paleta de caramelo macizo “bomba chile”, no define la cantidad de azúcar empleado ni el aporte calórico que otorga el producto.

# 4

## Red de valor de la industria de edulcorantes



### 4.1 Resumen

Ante la inminente sustitución de azúcar de caña por otros edulcorantes, que pone en riesgo el crecimiento del sector cañero, se hace necesario plantear estrategias que sean capaces de otorgar alternativas de desarrollo para esta industria. El mapeo de la red de comercialización de azúcar de caña permitirá analizar el impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México. Para el mapeo de la red de comercialización de azúcar de caña se empleó la metodología de mapeo detallado de actores (Rendón *et al.*, 2009) con tres eslabones de la cadena comercial: los ingenios azucareros, las agroindustrias y los clientes finales. Este mapeo permitió identificar actores y flujos comerciales para realizar un análisis de la red de valor de azúcar de caña (Nalebuff y Branderburger, 2005), así como las redes comerciales específicas por tipo de actor: Red comercial de los ingenios azucareros, Red comercial de las agroindustrias azucareras y Red comercial de los consumidores de azúcar de caña. Los resultados permitieron identificar la tendencia de crecimiento del uso de edulcorantes diferentes al azúcar de caña.

### 4.2 Mapeo de redes comerciales

El mapeo de redes comerciales se realizó empleando la metodología de mapeo detallado de actores (Rendón *et al.*, 2009), esta metodología consta de siete etapas. Estas etapas orientan desde la definición del objetivo del mapeo, hasta el análisis y uso de la información para la localización de actores clave en procesos de difusión y la toma de decisiones. Se detalla a continuación cada una de estas etapas.

#### 4.2.1 Definición del objetivo del mapeo

El objetivo del mapeo de redes de innovación es la identificación de actores y sus relaciones en un área geográfica en torno a alguna actividad productiva. Rendón y Díaz (2013) plantean que dicho objetivo puede orientarse a la identificación de innovaciones tecnológicas, redes sociales, redes de comercialización, nichos de mercado o liderazgos locales. En este estudio, el objetivo se orientó a la identificación de redes de comercialización de azúcar de caña. Se retoma el concepto de red propuesto por Ekboir (2006) que establece que una red se conforma de manera voluntaria por actores, quienes comparten recursos para el logro de objetivos comunes. Así, una red de comercialización es la integración de actores y sus relaciones comerciales en un

territorio específico, orientado al cumplimiento de un objetivo común. El objetivo del mapeo contribuirá a identificar a los actores con los que se pueden establecer alianzas de comercialización para favorecer la competitividad del azúcar de caña.

#### 4.2.2 Diseño del instrumento de colecta de información

Se diseñaron tres instrumentos de colecta de información a saber: *i)* dirigido a ingenios azucareros; *ii)* dirigido a industrializadores (compradores de caña de azúcar), y *iii)* consumidores (clientes finales que adquieren azúcar en puntos de venta).

Los instrumentos se diseñaron tomando en cuenta los objetivos, necesidades y metas del estudio, asimismo, se tomaron de base preguntas del mapeo detallado de actores y de teoría de análisis de redes para garantizar la identificación de las relaciones entre los distintos tipos de actores de la red de comercialización.

El cuestionario a ingenios azucareros consta de tres secciones:

- I. Identificación del ingenio azucarero. En esta sección se encuentran los datos generales del entrevistado y del ingenio como nombre, datos de localización y de contacto.
- II. Capacidad productiva. En esta sección se recaba información del tipo de azúcar que produce, capacidad y sus características.
- III. Red de venta. Se obtiene información acerca de los compradores del azúcar que produce, calidad, cantidad y periodicidad de compra. También incluye información de sustitución de azúcar.

El cuestionario dirigido a industrializadores de azúcar consta de cinco secciones:

- I. Identificación del industrializador. En esta sección se encuentran los datos generales del entrevistado y del industrializador como nombre, datos de localización y de contacto.
- II. Necesidad de compra de azúcar de caña, para conocer sobre la calidad, características, volumen requerido y uso que le da al azúcar.
- III. Red de compra. Recaba información a cerca de sus proveedores de azúcar, calidad, cantidad, precio y periodicidad de compra. Asimismo, incluye preguntas para conocer si ha sustituido el uso de azúcar.
- IV. Red de venta. Esta sección permite conocer los productos que elabora a partir de azúcar, a quién se los vende, la cantidad y periodicidad.
- V. Sustitución de azúcar por edulcorantes. Esta información permite saber las causas de la sustitución de azúcar de caña por edulcorantes.

El cuestionario dirigido a consumidores finales de azúcar consta de dos secciones:

- I. Identificación del consumidor. En esta sección se encuentran los datos generales del entrevistado como nombre, datos de contacto y de perfil.
- II. Consumo de azúcar. Recaba información del lugar de compra y preferencias del consumidor.

Finalmente, cada cuestionario cuenta con espacios para comentarios adicionales y nombre del entrevistador.

#### 4.2.3 Levantamiento de información

Para la selección de los actores a entrevistar se llevó a cabo un muestreo dirigido, partiendo del padrón de ingenios azucareros de SAGARPA, se buscó entrevistar a los 57 ingenios, sin embargo sólo se entrevistaron a 48 (en la última zafra sólo operaron 50 ingenios). A partir de estos primeros entrevistados se entrevistó a los actores referidos por éstos como industrializadores, además se entrevistaron a otros industrializadores referidos por los primeros industrializadores a quienes se realizó la entrevista como usuarios de azúcar en sus productos. Para la entrevista a clientes se establecieron puntos estratégicos de áreas comerciales en diferentes estados de la república, donde se entrevistaron aleatoriamente a consumidores de productos endulzados con azúcar, con la restricción de que estas personas desearan participar en el estudio.

#### 4.2.4 Sistematización de la información

En esta etapa del mapeo se revisa la calidad de las encuestas, se captura y se analiza la información relacional con el siguiente procedimiento: para la captura de información relacional se empleó un catálogo construido ex profeso asignando claves únicas a cada actor (Rendón *et al.*, 2009). A partir de este catálogo se capturaron las relaciones para la construcción de una base de datos en formato nodelist1, apropiada para captura de matrices modo 1 o matrices simétricas. Se empleó un sistema de registro binomial, donde 0 indica ausencia de relación y 1 su existencia. El archivo relacional se procesó inicialmente en NetDraw (Borgatti *et al.*, 2002) para la obtención del gráfico de la red. Posteriormente, en este archivo se utilizó el programa UCINET (Borgatti *et al.*, 2002) para el cálculo de indicadores de densidad y centralización (Rendón y Díaz, 2013).

#### 4.2.5 Análisis gráfico

Para el análisis de las redes comerciales se utilizó el programa UCINET (Borgatti *et al.*, 2002), y las aplicaciones de ayuda NetDraw como herramienta para el análisis gráfico. Los gráficos finales se procesaron en Gephi. El análisis gráfico conformó la primera etapa de análisis para la identificación de las estructuras y como base para la conformación de una matriz relacional, que permitiera el cálculo de indicadores de cada red.

#### 4.2.6 Análisis de indicadores

En el análisis se utilizaron los siguientes indicadores, algoritmos y consideraciones:

##### 4.2.6.1 Indicadores de densidad y centralización

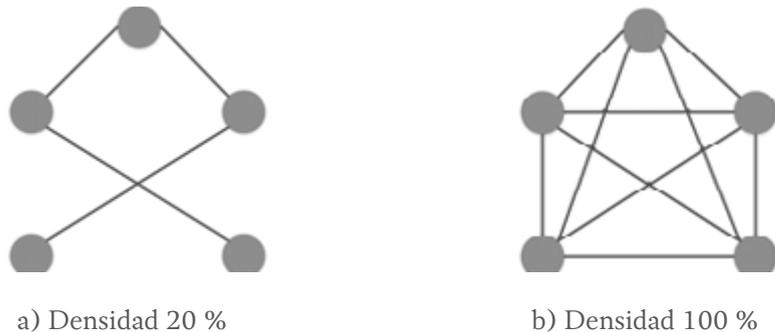
Densidad. La densidad de una red está en función del número de vínculos que existan en ella; es decir, representa a los nodos que están vinculados a otros nodos en la red. Es expresada como la proporción de todas las relaciones posibles en una red, entre las relaciones existentes (Wasserman y Faust, 1994). Una red en la que todos los actores están vinculados tiene la máxima densidad (100 %). Se calcula empleando la siguiente expresión:

$$D = \frac{r}{N(N-1)} * 100$$

Donde  $D$  es la densidad de una red expresada en porcentaje,  $r$  denota las relaciones existentes y  $N$  el número de nodos en la red.

Una red con alta densidad es reflejo de procesos desarrollados de confianza y de flujo en lo general (Freman, 2010). Una baja densidad refleja relaciones aún en desarrollo y en las cuales, en el corto plazo, la inversión será superada por los resultados a obtener.

Figura 85. Representación de la densidad de una red.



Fuente: Rendón y Díaz (2013).

Su cálculo se recomienda al inicio de la exploración de los datos de redes (Rendón, 2013).

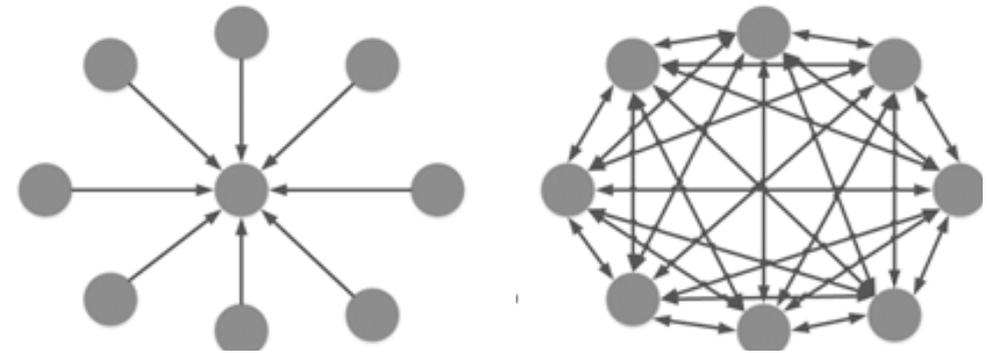
Centralización. La diferencia entre el número de enlaces para cada nodo, dividido entre la cantidad máxima posible de diferencias es lo que se conoce como centralización (Wasserman y Faust, 1994). El grado de centralización estará en función de la concentración de relaciones que tengan algunos de los nodos de la red (Freeman, 2010) y está dado por la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum(D - d)}{(N - 1)(N - 2)}$$

Donde  $D$  es el grado máximo de un actor en la red, mientras que  $d$  es el grado de cada uno de los actores en red y  $N$  es el número de actores en la red.

Una red centralizada está dominada por uno o muy pocos nodos centrales, si alguno de esos nodos es removido, la red se fragmenta rápidamente.

Figura 86. Representación del índice de centralización.



Red con índice de centralización del 100 %

Red con índice de centralización del 0 %

Fuente: Rendón y Díaz (2013).

Una red con un Índice de Centralización cercano a 100 % es típica de programas diseñados en forma vertical o en modelos de comercialización dominados por un actor o un pequeño grupo de actores (Rendón, 2013). Un alto índice de centralización refleja la debilidad de una red, es decir que si el actor o actores que controlan la red llegaran a desaparecer, la desestabilizarían a tal grado de poner en riesgo su existencia, al menos en el corto plazo.

Tanto la densidad como la centralización dan cuenta de parámetros de la red en general. El primero, de las relaciones existentes entre las posibles; el segundo, de la concentración en los flujos de información.

#### 4.2.7 Uso del análisis de redes para la toma de decisiones

La última etapa del mapeo de redes consiste en su uso para la toma de decisiones. Esto es fundamental porque representa la culminación de todo el proceso de mapeo.

Las etapas previas son importantes y deben de hacerse con toda precisión, pero no tendrán ninguna validez si no se tiene un sentido de uso y aplicación en el planteamiento de propuestas estratégicas de intervención. Estas propuestas pueden estar definidas en acciones de política pública a través de programas o proyectos de mejora de la sociedad a través de actividades agropecuarias y comerciales de interés.

#### 4.3 La Red de valor

Para comprender el entorno comercial del azúcar de caña, se realizó un análisis de la red de valor (Nalebuff y Branderburger, 2005), considerando la importancia del análisis de los actores involucrados.

En este contexto, el análisis de los sistemas agroindustriales, tradicionalmente, se ha llevado a cabo bajo un enfoque de cadena. Sin embargo, en el nuevo ambiente de negocios, este enfoque presenta algunas limitaciones. En primer lugar su análisis estructural es lineal. Se limita a diagnosticar cada uno de los actores que integran los eslabones de la cadena sin asignarle el peso adecuado a las interacciones, la correlación de fuerzas y las reglas de juego entre ellos.

De acuerdo con Muñoz (2010), la red de valor es “una forma de organización de un sistema productivo especializado en una actividad en común, caracterizado por la concentración territorial de sus actores económicos y de otras instituciones, con desarrollo de vínculos de naturaleza económica y no económica que contribuyen a la creación de riqueza, tanto de sus miembros como de su territorio”.

La red de valor permite descifrar la capacidad de cooperación entre los actores económicos y no económicos que la integran, y tiene como fin generar riqueza. La articulación eficiente de la red de actores es un elemento clave para impulsar la competitividad de la misma en el ámbito nacional e internacional. Se articula en torno de una empresa o agroindustria. Su competitividad está dada por: su conocimiento sobre el mercado y demanda específica del consumidor; su red de proveedores de insumos y servicios vía la oferta diversificada y calidad de bienes; y por la oferta de bienes públicos como la inversión en investigación, vías de comunicación, extensionismo, política de crédito, regulación de mercado (Muñoz, 2010).

La red de valor localiza a un actor en relación con todos los demás e identifica la interdependencia entre unos y otros. En la red de valor existen cinco elementos básicos que determinan el juego de los negocios: jugadores, valores agregados, reglas, tácticas y extensión (Nalebuff y Branderburger, 2005).

La estructura de la red de valor ubica en el centro a las empresas. En el eje vertical de la red de valor están los clientes y los proveedores, recursos tales como materias primas y mano de obra pasan de los proveedores a la compañía, productos y servicios pasan de la compañía a sus clientes. El dinero fluye en la dirección contraria: de los clientes a la compañía y de ésta a sus proveedores. Sobre el eje horizontal del esquema se encuentran los complementadores y los competidores de la compañía (Nalebuff y Branderburger, 2005).

Figura 87. La Red de Valor.



Fuente: Nalebuff y Branderburger (2005).

#### 4.4 La Red de valor de azúcar de caña

Para comprender de una mejor manera el rol de los actores quienes participan en torno a un producto (que también puede referirse como cadena productiva, sistema productivo, u otro término) es importante analizarlos bajo un enfoque de red.

La red de valor es un concepto que permite visualizar el trabajo conjunto de diversos actores en distintas posiciones pero para una actividad común. Los actores presentes en una red de valor son: empresas, clientes, proveedores, competidores y complementadores.

El centro de interacción son las *empresas*, quienes se abastecen de insumos, servicios, entre otros, de los *proveedores*, y proporcionan de productos y servicios a sus *clientes*. Los *competidores* restan valor a los productos y servicios que la empresa ofrece, mientras que los *complementadores* agregan algún tipo de valor.

La información obtenida de la aplicación de encuestas permite retomar los elementos mencionados en el párrafo anterior, para hacer una aproximación de una red de valor de la industria azucarera (Figura 88).

La red de valor de la industria azucarera está constituida por los siguientes actores:

**Empresas.** La constituyen las agroindustrias dedicadas a la elaboración de productos alimenticios utilizando como endulzante el azúcar de caña.

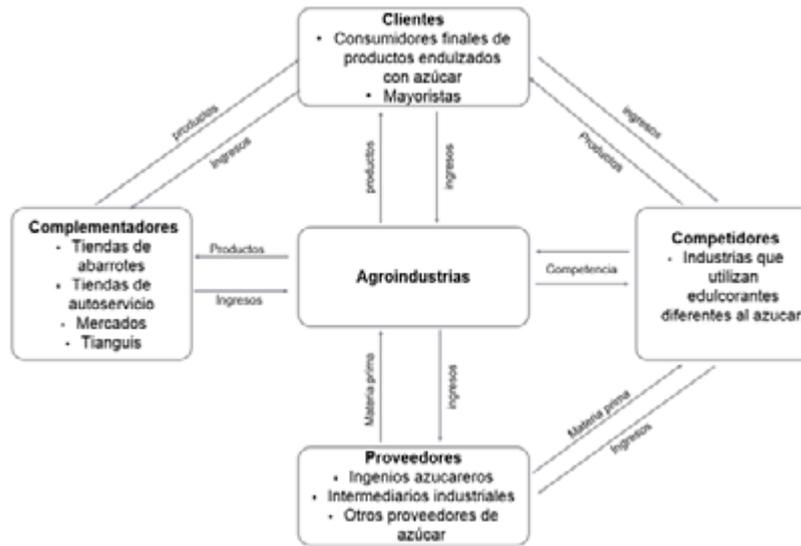
**Proveedores.** El principal insumo para las empresas es el azúcar en sus diferentes presentaciones: azúcar blanco especial, azúcar crudo, azúcar refinada y mascabado. Este insumo lo obtienen principalmente de los ingenios azucareros, aunque existen otros proveedores.

**Clientes.** Los productos alimenticios van destinados a los consumidores finales, de ahí que los principales clientes sean los consumidores, aunque otro cliente con mucha presencia son los mayoristas que sirven de puente entre la agroindustria y los consumidores.

**Competidores.** Los principales competidores que la empresa tiene son aquellas empresas que se dedican a la producción de alimentos endulzados con otros edulcorantes diferentes al azúcar.

**Complementadores.** La empresa tiene como complementadores a las tiendas de autoservicio, las tiendas de abarrotes, los mercados y tianguis. Los dos primeros son el medio de difusión de productos y marcas, mientras que los dos últimos sirven para hacer llegar los productos a lugares lejanos y de difícil acceso.

Figura 88. Red de valor de la industria azucarera en México.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5 La red comercial de los ingenios azucareros

Se entrevistaron a 70 informantes clave de los ingenios distribuidos en 15 estados. Destaca la participación del estado de Veracruz, con más del 45 % de los ingenios, lo cual indica la importancia del estado como productor de caña de azúcar.

Tabla 53. Distribución de entrevistas a ingenios en los estados.

Estado	Entrevistas por estado
Veracruz	29
Jalisco	6
San Luis Potosí	6
Morelos	4
Oaxaca	4
Chiapas	3
Michoacán	3
Puebla	3
Tabasco	3
Nayarit	2
Quintana Roo	2
Tamaulipas	2
Campeche	1
Colima	1
Sinaloa	1
Total	70

Fuente: elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

Las calidades de azúcar de caña que reportan los ingenios entrevistados son: crudo, seguido de la refinada, blanco especial y mascabado.

Veracruz es el estado con mayor volumen de azúcar de caña producido al año, destaca en la producción de calidades: crudo, refinada y mascabado, no se reporta producción de azúcar de calidad blanco especial, el volumen de producción de azúcar de caña del estado de Veracruz abarca alrededor del 50 % de lo reportado por los ingenios entrevistados.

Tabla 54. Volumen de producción según la calidad del azúcar de caña por estado (t).

Estado	Calidad del azúcar de caña producida				Total
	Blanco Especial	Crudo	Mascabado	Refinado	
Veracruz		3,081,730	339,280	1,925,952	5,346,962
San Luis Potosí	370,100		535,453	905,553	
Jalisco	146,142	593,845		136,104	876,091
Morelos		704,322			704,322
Puebla		556,967			556,967
Chiapas		435,000			435,000
Nayarit	89,429	288,000			377,429
Tabasco	80,349	75,740		197,592	353,681
Michoacán		181,400		34,000	215,400
Sinaloa		28,300		165,000	193,300
Tamaulipas		35,194		136,921	172,115
Colima	65,929	95,298			161,227
Quintana Roo	106,500	44,000		150,500	
Campeche		53,000			53,000
Total	381,849	6,986,896	419,799	3,131,022	10,919,566

Fuente: elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

El estado de San Luis Potosí es el segundo productor de azúcar de caña reportado; el enfoque de producción de los ingenios en este estado es hacia el azúcar refinado.

Los ingenios en los estados de Jalisco, Nayarit, Tabasco y Colima destacan su participación en la producción de azúcar de caña de calidad blanco especial, mientras que los ingenios ubicados en estados de Veracruz, Oaxaca y Quintana Roo tienen enfoque hacia la calidad de azúcar de caña mascabado, por otra parte, la mayoría de los estados producen calidad de azúcar refinada y crudo.

El precio de venta del azúcar de caña depende de la calidad del azúcar de caña producido por los ingenios. Los ingenios ubicados en el estado de Tabasco son los que reportan mejor precio de venta, lo cual se explica principalmente por el azúcar blanco especial; es decir, de los ingenios entrevistados, los ubicados en Tabasco reportaron los valores más elevados de precios de venta para azúcar de calidad blanco especial y refinada.

Tabla 55. Precio promedio de venta por la calidad del azúcar producido (\$/t).

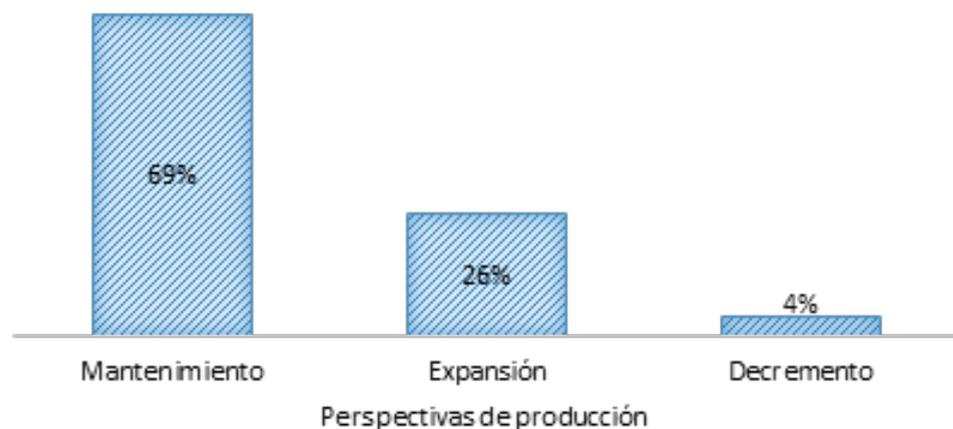
Estado	Blanco especial	Crudo	Mascabado	Refinado	Promedio
Tabasco	\$13,800	\$11,860		\$12,870	\$12,843
S.L.P.		\$11,413		\$12,432	\$11,876
Veracruz		\$11,434	\$13,267	\$11,754	\$11,802
Q. Roo		\$11,500	\$12,000		\$11,750
Tamaulipas		\$10,980		\$11,720	\$11,350
Morelos		\$11,130			\$11,130
Sinaloa		\$9,000		\$13,000	\$11,000
Tabasco	\$13,800	\$11,860		\$12,870	\$12,843
S.L.P.		\$11,413		\$12,432	\$11,876
Veracruz		\$11,434	\$13,267	\$11,754	\$11,802
Q. Roo		\$11,500	\$12,000		\$11,750
Tamaulipas		\$10,980		\$11,720	\$11,350
Morelos		\$11,130			\$11,130
Sinaloa		\$9,000		\$13,000	\$11,000
Oaxaca		\$10,250	\$11,667		\$10,857
Puebla		\$10,804			\$10,804
Michoacán		\$10,200		\$12,000	\$10,500
Campeche		\$9,500			\$9,500
Chiapas		\$9,333			\$9,333
Nayarit	\$9,500	\$8,500			\$9,125
Colima	\$9,500	\$8,500			\$9,000
Jalisco	\$9,500	\$8,138		\$9,000	\$8,416
Promedio	\$11,343	\$10,786	\$12,743	\$11,914	\$11,263

Fuente: elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

Las calidades de azúcar con precios de venta más homogéneos son las de tipo crudo y refinado, para el caso del azúcar mascabado los ingenios ubicados en Veracruz y Quintana Roo son los que reportan mejor precio. En términos generales, la calidad de azúcar con mejor precio de venta reportada por los ingenios es el mascabado, que se ubica \$2,000.00 M/N por encima de la calidad estándar.

La mayoría de los ingenios encuestados mencionan que su perspectiva de producción está en el mantenimiento. Sin embargo, un grupo importante de ingenios dicen estar en expansión y un pequeño grupo reportan ubicarse en decremento. Esta situación refleja un estancamiento del 69 % de los ingenios analizados.

Figura 89. Perspectivas de producción por parte de los ingenios.



Fuente: elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

El interés de saber cuáles son los principales destinos de la producción de los ingenios llevó al planteamiento de la pregunta ¿a quién le vende? Los resultados muestran que FEMSA es uno de los principales compradores de los productos generados por los ingenios, esta empresa acapara el 31.71 % de la producción de los ingenios. Zucarmex y Bimbo también son importantes compradores, estos últimos compran alrededor del 30 % de la producción.

Tabla 56. Principales compradores de azúcar de caña a los ingenios.

Comprador de azúcar de caña	Cantidad vendida (t)	Porcentaje (%)
Femsa	3,619,579	30.71
Zucarmex	2,264,000	19.22
Bimbo	1,292,071	10.96
Pepsico	952,539	8.08
Ricolino	299,065	2.54
Walmart	254,100	2.16
Pascual	250,000	2.12
Grupo Porres	234,000	1.99
Compañía Panamericana de Comercio S.A. de C.V.	211,500	1.79
Jumex	185,000	1.57
Cultiva Pepsico	172,341	1.46
Bepensa S.A. de C.V.	170,500	1.45
Cadbury Adams México	142,500	1.21
Nestlé	138,303	1.17
Metro S.A. de C.V.	259,700	2.20
Grupo Industrial Azucarero de Occidente S.A. de C.V.	128,000	1.09
Kellogg's	110,000	0.93
Florida Crystal	96,500	0.82
Lala	84,000	0.71
México S.A. de C.V.	80,349	0.68
Alpura	80,000	0.68
Azúcar Dulce Día	74,221	0.63
Gamesa	69,000	0.59
Grupo Peñafiel	60,000	0.51
Ibarra	60,000	0.51
Peñafiel	60,000	0.51
Grupo Beta San Miguel	55,000	0.47
Soriana	49,200	0.42
Kraft	36,792	0.31
García Alimentos S.A. de C.V.	30,000	0.25
Grupo Modelo	30,000	0.25
Marinela	30,000	0.25
Grupo Santos	28,138	0.24
Alimentos Mezclados de México	27,221	0.23

Tabla 56. Principales compradores de azúcar de caña a los ingenios (continuación).

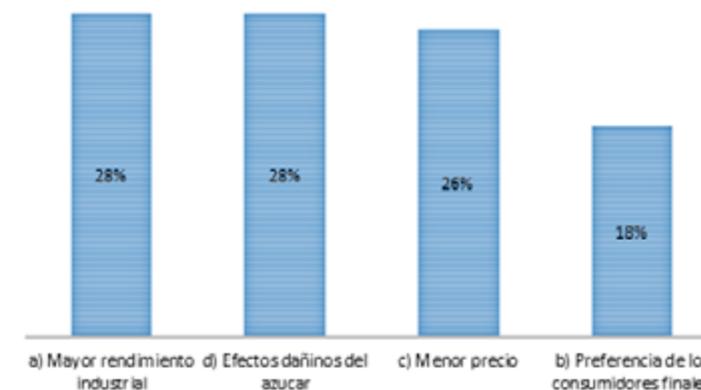
Comprador de azúcar de caña	Cantidad vendida (t)	Porcentaje (%)
Motzorongo	24,500	0.21
La Moderna	20,000	0.17
Grupo Azucarero	17,952	0.15
Impulsora Azucarera del Trópico	15,900	0.13
Grupo Sáenz	14,500	0.12
Abarroteros	12,300	0.10
Tepic, Nayarit	12,300	0.10
Modelo	10,000	0.08
Sucroliá Sapi de C.V.	10,000	0.08
Azúcares Selectos de México	6,000	0.05
La Corona	4,000	0.03
Gran D S.A. de C.V.	2,500	0.02
Casa Alonso	800	0.01
El Puma Abarrotero	800	0.01
<b>Total</b>	<b>11,785,170</b>	<b>100</b>

Nota: Se agruparon los clientes de los ingenios de las mismas marcas, sin hacer distinción de la ubicación geográfica.

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

El 15 % de los ingenios encuestados reportan sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de sus clientes, las principales causas reportadas de esta sustitución son: *i*) existe mayor rendimiento industrial de los edulcorantes, y *ii*) los clientes asocian el consumo de azúcar de caña con efectos dañinos para la salud.

Figura 90. Causas de la sustitución del azúcar por edulcorantes por parte de los clientes de los ingenios.



Fuente: elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

#### 4.5.1 Análisis de la red comercial

En la red de distribución y comercialización del azúcar por los ingenios se han identificado 126 actores (Tabla 57), de los cuales 56 son proveedores de azúcar (equivalente a un 44.4 %). A partir de los proveedores fue posible identificar a otros actores considerados como “compradores”.

Los actores identificados como proveedores son los ingenios azucareros y compañías azucareras que ofertan el azúcar. Mientras que los compradores son las agroindustrias y otras industrias que utilizan el azúcar en la elaboración de productos.

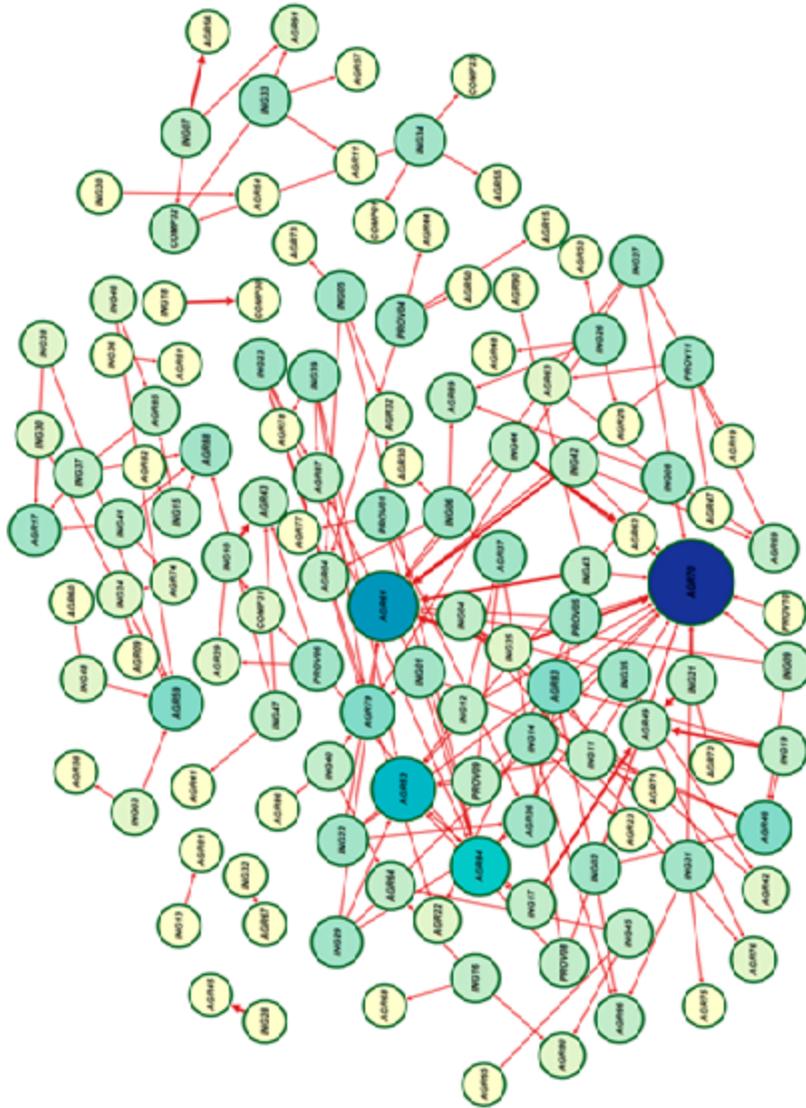
Tabla 57. Actores identificados en la red comercial de ingenios azucareros.

Tipo de actor	Clave	Número de actores
Ingenios azucareros	ING	48
Compañías azucareras	PROV	8
Agroindustrias	AGR	65
Otras industrias	COMP	5
<b>Total de actores identificados</b>		<b>126</b>

Fuente: elaboración propia.

Los 126 actores identificados presentan una interacción como la que se muestra en la figura 91. Los actores que integran la red pueden identificarse en el Anexo.

Figura 91. Red comercial de ingenios azucareros.



Fuente: elaboración propia.

La representación gráfica permite apreciar las relaciones comerciales entre los actores. Se puede inferir que entre los actores existe una lealtad comercial, esto se conoce como desarrollo de proveeduría del producto; es decir, existe un “acuerdo” o “compromiso moral” de ambas partes en el cual el proveedor asegura la venta de su producto en términos de volumen y precio, y el comprador por su parte tiene la cantidad de materia prima requerida.

Con relación a la estructura de la red, es una red en donde todos los actores están conectados entre sí. Sin embargo, se pueden observar dos cosas: 1) el número de relaciones de los actores, y 2) el volumen de producto que intercambian.

El número de relaciones está vinculado con el tamaño de los nodos, a mayor tamaño mayores relaciones comerciales. Destaca el actor AGR70, aunque también sobresalen los actores AGR61, AGR52 y AGR82. El actor AGR70 se abastece de 17 proveedores, mientras que los AGR61, AGR52 y AGR82 de 11, 9 y 7 proveedores, respectivamente. Esto en términos prácticos significa que la cantidad de azúcar requerido de estas agroindustrias sobrepasa la capacidad productiva de los ingenios, de ahí que tengan que abastecerse en más de cinco.

El volumen de producto se puede apreciar en el grosor de las relaciones (flechas), a mayor grosor mayor volumen de producto intercambiado. En general, no existe una diferencia significativa en el intercambio comercial del azúcar.

Algunos indicadores de la red se presentan en Tabla 58. Los indicadores de centralización reflejan la concentración de las relaciones en ciertos actores. Se puede observar que el valor del índice de centralización de entrada es mayor al de salida, esto se debe básicamente a que hay más proveedores que compradores; es decir, la cantidad de ingenios es mayor que las agroindustrias con necesidad de comprar azúcar.

Tabla 58. Indicadores de la red comercial de ingenios azucareros.

Indicadores	Número/Índice
Número de actores (nodos)	126
Relaciones existentes	168
Centralización (entrada)	12.73 %
Centralización (salida)	2.17 %
Densidad	1.07 %

Fuente: elaboración propia.

El indicador de densidad indica las relaciones existentes de las posibles, por lo que el valor puede interpretarse como sigue: “de cada cien relaciones posibles sólo se concreta 1”. Sin embargo, no se puede asegurar que esto sea malo, al contrario, desde un punto de vista de lealtad se esperaría que así se mantuvieran las relaciones comerciales, porque el hecho de que todos estén conectados se entendería como que cualquier proveedor le puede vender a cualquier comprador.

#### 4.6 La Red comercial de las agroindustrias azucareras

Se entrevistaron 40 industrializadores de azúcar de caña producido por los ingenios. Las industrias se encuentran distribuidas en diez estados de la república, 18 en el Estado de México, 8 en el estado de Jalisco y en el resto de los estados se encuentran las otras 14 industrias.

Tabla 59. Distribución de las agroindustrias entrevistadas.

Estado	Número de industrializadores	Porcentaje ( % )
Estado de México	18	49
Jalisco	8	22
Veracruz	6	8
Morelos	2	5
Guanajuato	1	3
Oaxaca	1	3
Puebla	1	3
Querétaro	1	3
Quintana Roo	1	3
Tamaulipas	1	3
Total	40	100

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Las industrias distribuidas en los estados demandan diversos volúmenes y calidades de azúcar, lo cual está en función de los productos que generan las industrias. El Estado de México en total demanda poco más de 2 millones de toneladas de azúcar crudo, mascabado y refinado, las industrias del estado de Jalisco tienen el

segundo lugar en demanda, con poco más de 700 mil toneladas de azúcar crudo, refinado y blanco especial, cabe destacar que es el único estado que tiene demanda de azúcar de calidad blanco especial.

Tabla 60. Volumen de azúcar de caña requerido al año en cada estado.

Estado	Toneladas demandadas por calidad de azúcar de caña				Total
	Blanco especial	Crudo	Mascabado	Refinado	
Estado de México		1,262,850	38,000	734,000	2,034,850
Jalisco	23,000	239,000		485,000	747,000
Veracruz		490,000			460,000
Morelos		60,000		250,000	310,000
Guanajuato				300,000	300,000
Oaxaca		25,000		170,000	195,000
Quintana Roo		160,000			160,000
Querétaro				152,000	152,000
Puebla		100,000			100,000
Tamaulipas		1,500		1,000	2,500
Total	23,000	2,308,350	38,000	2,092,000	4,461,350

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Las industrias entrevistadas reportan 15 diferentes usos para el azúcar de caña que adquieren. El 15 % de las industrias destinan el azúcar de caña adquirido a la elaboración de refrescos, el 13 % para panificación, y el 30 % de las industrias lo destinan a la elaboración de dulces, azúcar en presentación de un kilogramo, y jugos y néctares; el resto de las industrias lo distribuyen en otro tipo de alimentos.

Tabla 61. Usos que dan las agroindustrias al azúcar de caña adquirido.

Usos del azúcar	Blanco especial	Calidad de azúcar de caña				Porcentaje (%)
		Crudo	Mascabado	Refinado	Total	
Refresco		2		5	7	15
Panificación		6			6	13
Dulces		5			5	10
Presentación de 1 kg		3	1	1	5	10
Jugos y néctares		2		3	5	10
Industrialización	1			3	4	8
Chocolate		2			2	4
Gelatinas y yogurt		2			2	4
Ventas mayoristas, minoristas		3		2	5	2
Café soluble		1			1	2
Chocolates				1	1	2
Confitería			1		1	2
Hojuelas de cereales		1			1	2
Mermeladas		1			1	2
Yogurt		1			1	2
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>29</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>48</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Los principales proveedores de las agroindustrias son 44, y se enlistan a continuación:

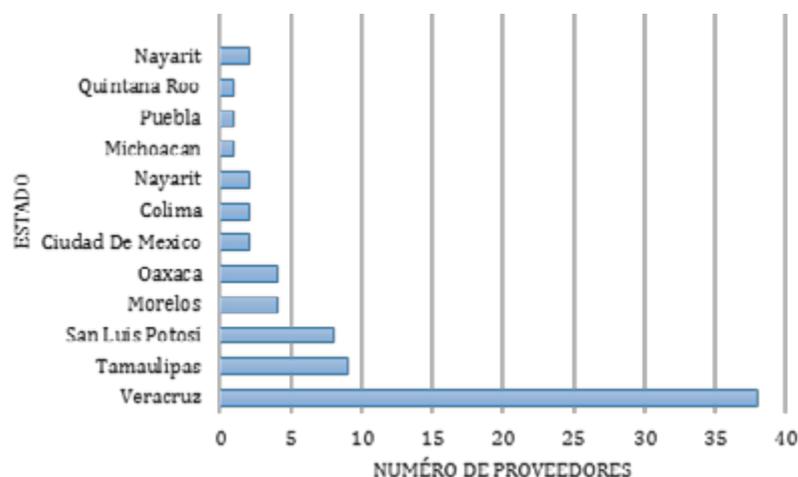
Tabla 62. Proveedores de azúcar de caña de las agroindustrias.

Proveedores	
Azucarera Río Guayalejo S.A. de C.V.	Ingenio San Miguel del Naranjo S.A. de C.V.
Central Motzorongo	Ingenio San Miguelito
Central Progreso	Ingenio Alianza Popular
CIA Azucarera Del Río Guayalejo	Ingenio Casasano
CIA Azucarera San Pedro S.A. de C.V.	Ingenio Central Progreso
Compañía Panamericana de Comercio	Ingenio De Puga
Fomento Azucarero del Golfo	Ingenio El Carmen
Grupo Beta San Miguel	Ingenio El Higo
Grupo Santos	Ingenio El Mante
Grupo Azucarmex	Ingenio El Modelo
Ingenio Alianza Popular	Ingenio El Refugio
Ingenio Atencingo	Ingenio Emiliano Zapata
Ingenio Central Progreso	Ingenio José Ma Morelos
Ingenio Constancia	Ingenio La Margarita
Ingenio El Carmen	Ingenio López Mateos
Ingenio El Higo	Ingenio Puga
Ingenio El Potrero	Ingenio Queserías
Ingenio La Constancia	Ingenio San Cristóbal
Ingenio La Gloria	Ingenio San Miguel del Naranjo
Ingenio La Providencia	Ingenio San Rafael de Pucte
Ingenio Mahuistlán	Ingenio Tres Valles
Ingenio Plan de Ayala	Ingenio Lázaro Cárdenas

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

En la distribución de los proveedores de las agroindustrias, destaca el estado de Veracruz con más del 50 %, seguido de Tamaulipas y San Luis Potosí.

Figura 92. Distribución de los proveedores de azúcar de caña de las agroindustrias por estado.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Los mayores volúmenes de compra se realizan al estado de Veracruz, seguido de San Luis Potosí y Oaxaca, sin embargo, no son los estados con mejor precio de venta. Los mejores precios de venta los obtiene el estado de Nayarit.

Tabla 63. Volumen y precio promedio de azúcar comprado por los industrializadores.

Estado	Volumen de azúcar comprado (t)	Precio promedio de compra(\$/t)
Veracruz	2,129,750	11,607
San Luis Potosí	441,000	11,950
Oaxaca	300,000	12,125
Ciudad de México	250,000	11,750
Nayarit	188,000	19,900
Colima	175,000	11,500
Morelos	155,500	11,323
Quintana Roo	140,000	12,500
Tamaulipas	117,000	11,553
Puebla	100,000	10,995
Michoacán	50,000	11,500
Total	4,296,250	11,613

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

A nivel de ingenio existen variaciones importantes en los volúmenes de compra y precio de venta. Los volúmenes de compra varían de 270,000 a 7,000 toneladas de azúcar de caña, mientras que los precios de compra fluctúan entre \$12,553 y \$9,950. El ingenio Plan de Ayala es el que reporta un precio promedio de venta mayor a los demás ingenios. Por otra parte, el ingenio Tres Valles reporta mayor cantidad de azúcar de caña vendida.

Tabla 64. Volumen de compra de azúcar de caña a los ingenios y precio promedio de compra.

Nombre del ingenio	Cantidad de compra(t)	Precio promedio de compra ( \$/t)
Ingenio Plan de Ayala	210,000	12,553
Ingenio el Carmen	91,000	12,540
Compañía Panamericana de Comercio	150,000	12,500
Ingenio San Rafael de Pucte	140,000	12,500
Ingenio El Refugio	25,000	12,500
Ingenio López Mateos	170,000	12,000
Ingenio La Margarita	105,000	12,000
Ingenio El Carmen	23,900	11,940
Ingenio El Modelo	110,000	11,900
Fomento Azucarero del Golfo	113,000	11,887
Ingenio Central Progreso	50,000	11,800
Ingenio El Higo	50,000	11,800
Ingenio La Gloria	171,000	11,775
Ingenio San Miguel del Naranjo	129,000	11,753
Ingenio Puga	250,000	11,750
Grupo Azucarmex	125,000	11,750
Azucarera Río Guayalejo S.A. de C.V.	21,000	11,725

Tabla 64. Volumen de compra de azúcar de caña a los ingenios y precio promedio de compra (continuación).

Nombre del ingenio	Cantidad de compra(t)	Precio promedio de compra ( \$/t)
Ingenio el Potrero	183,000	11,640
Ingenio El Mante	45,000	11,546
Ingenio Mahuistlán	40,000	11,520
Ingenio Tres Valles	270,000	11,500
Grupo Beta San Miguel	200,000	11,500
Ingenio Queserías	175,000	11,500
Ingenio José Ma. Morelos	65,000	11,500
Lázaro Cárdenas	50,000	11,500
Central Progreso	7,000	11,500
Grupo Santos	10,000	11,420
CIA Azucarera Del Río Guayalejo	51,000	11,400
Central Motzorongo	160,850	11,397
Ingenio San Miguel del Naranjo S.A de C.V.	57,000	11,375
Ingenio Cassasano	40,500	11,375
Ingenio La Providencia	140,000	11,350
Ingenio San Miguelito	30,000	11,320
Ingenio El Higo	100,000	11,300
Ingenio Central Progreso	40,000	11,300
CIA Azucarera San Pedro S.A de C.V.	100,000	11,200
Ingenio Alianza Popular	70,000	11,200
Ingenio Alianza Popular	20,000	11,200

Tabla 64. Volumen de compra de azúcar de caña a los ingenios y precio promedio de compra (continuación).

Nombre del ingenio	Cantidad de compra(t)	Precio promedio de compra ( \$/t)
Ingenio Emiliano Zapata	90,000	11,135
Ingenio San Cristobal	50,000	11,060
Ingenio Constancia	65,000	11,020
Ingenio La Constancia	15,000	11,020
Ingenio Atencingo	100,000	10,995
Ingenio de Puga	188,000	9,950
Total general	4,296,250	11,613

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Los tipos de clientes de los industrializadores comprenden desde tiendas de abarrotes hasta tiendas de autoservicio, pudiendo ser minoristas y mayoristas. Dichos clientes se distribuyen por todo el país, incluso hay industrializadores que no especifican la ubicación de sus clientes.

Tabla 65. Distribución de los clientes reportados por las agroindustrias entrevistadas.

Estado	Clientes	Estado	Clientes
Estado de México	Abarroteros	Todo el país	Abarroteros
	Panificadoras		Misceláneas
Jalisco	Abarrotes	Todo México	Tiendas autoservicios
	Ley		Tiendas de autoservicio
	McCormick		Tiendas departamentales
Guanajuato	Sidral Aga	Todo México	Centrales
	Sigma Alimentos		Mayoristas
	Soriana		Misceláneas
	Tiendas Oxxo		Supermercados
	Walmart		Tiendas autoservicio
	Danone		Tiendas de autoservicio

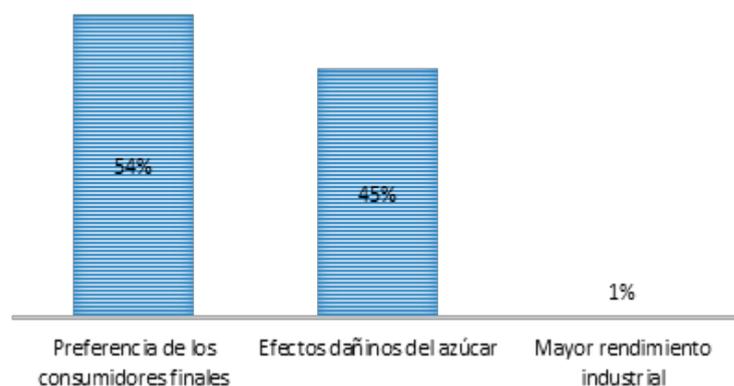
Tabla 65. Distribución de los clientes reportados por las agroindustrias entrevistadas (continuación).

Estado	Clientes	Estado	Clientes
Tamaulipas	Abarroteros	No especifica	Tiendas de conveniencia
	Misceláneas		Tiendas departamentales
	Minoristas		Wal-Mart
Jalisco	De La Rosa	No especifica	Abarroteros
			Mayoristas
			Misceláneas
			Supermercados
			Tiendas de conveniencia

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Ninguno de los industrializadores entrevistados afirma haber sustituido completamente el uso de caña de azúcar por otro tipo de edulcorante. Sin embargo, sí han incluido otro tipo de edulcorantes en sus productos generados, las principales causas son: *i*) porque los consumidores finales ejercen presión por el consumo otro tipo de edulcorantes; *ii*) el consumo de azúcar está asociado a efectos dañinos a la salud, y *iii*) existe mayor rendimiento industrial.

Figura 93. Causas de las agroindustrias para sustituir el azúcar de caña por edulcorantes.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Entre los beneficios percibidos por las industrias, de sustituir el azúcar de caña por otro tipo de edulcorantes se encuentran: el desarrollo de nuevos productos, la diversificación de sus productos, líneas de negocio relacionadas con la salud de los consumidores y productos combinados.

Figura 94. Beneficios que perciben las agroindustrias ante la sustitución de azúcar por edulcorantes.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

#### 4.6.1 Análisis de la red comercial

En la red de comercialización del azúcar con las agroindustrias se han identificado 103 actores (Tabla 66), de los cuales 40 son agroindustrias (equivalente a un 38.8 %). A diferencia de la red comercial de los ingenios azucareros, esta red la componen la red comercial de compra y la red comercial de venta; la red comercial de compra corresponde a la compra del azúcar a los proveedores, mientras que la red comercial de venta corresponde a la venta a sus clientes de los productos que la agroindustria elabora. A partir de lo anterior fue posible identificar a otros actores: compradores de productos y vendedores de azúcar.

Los actores identificados como vendedores de azúcar son los ingenios azucareros y otras compañías azucareras que ofertan la materia prima. Mientras que los compradores son empresas diversas que venden a los consumidores finales los productos elaborados por las agroindustrias, es decir, sirven de puente entre los consumidores y las agroindustrias.

Tabla 66. Actores identificados en la red comercial de la agroindustria azucarera.

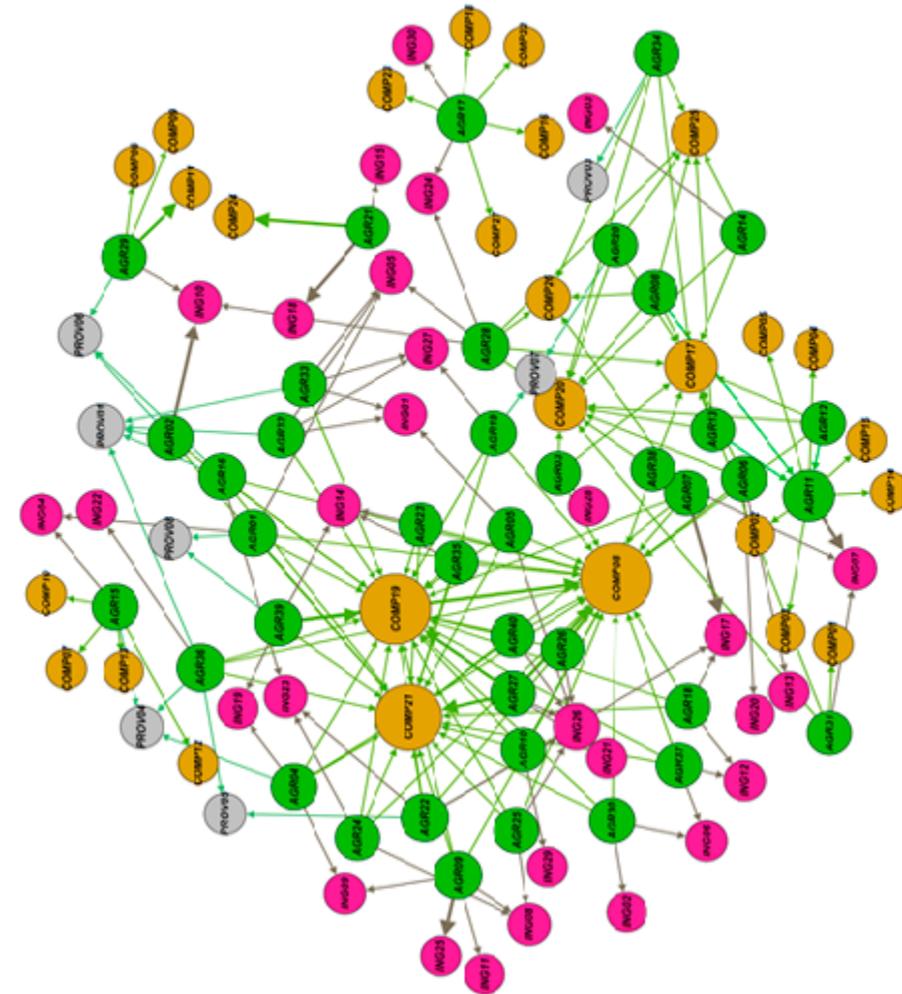
Tipo de actor	Clave	Número de actores
Ingenios azucareros	ING	29
Compañías azucareras	PROV	7
Agroindustrias	AGR	40
Empresas	COMP	27
Total de actores identificados		103

Fuente: elaboración propia.

Los 103 actores identificados presentan una interacción como la que se muestra en la figura 95. Para construir la figura, se entrevistaron a 40 agroindustrias a quienes se les preguntó *¿A quién (es) le compra el azúcar que necesita para elaborar sus productos?* Resultado de ello fue la identificación de 29 ingenios azucareros y siete compañías azucareras como actores referidos.

A las mismas 40 agroindustrias se les preguntó *¿A quién (es) le vende sus productos que elabora y que son endulzados con azúcar?* Con esta pregunta fue posible la identificación de 27 empresas que comercializan los productos fabricados por las agroindustrias. Los actores que integran la red comercial pueden identificarse con detalle en el Anexo.

Figura 95. Red comercial de la agroindustria azucarera.



Fuente: elaboración propia.

La representación gráfica permite apreciar las relaciones comerciales entre los actores. Por una parte se distingue a los actores ING y PROV (cuyos nodos están representados en colores rosa y gris, respectivamente), como los proveedores de materia prima a los actores AGR (nodos están representados en color verde), a esta parte corresponde a la red comercial de compra. También se distingue la red comercial de venta y corresponde a los actores COMP (nodos representados en color amarillo), como los compradores de los productos a los actores AGR (nodos representados en verde).

Con relación a la estructura, es una red en donde todos los actores están conectados entre sí. Sin embargo, al igual que en la red comercial de ingenios azucareros se pueden observar dos cosas: 1) el número de relaciones de los actores y 2) el volumen de producto que intercambian.

El número de relaciones está vinculado con el tamaño de los nodos, a mayor tamaño, mayores relaciones comerciales. Destacan los actores COMP08, COMP19 y 1; aunque también sobresalen los actores COMP20 y COMP17. Los actores COMP08, COMP19, COMP21; COMP20 y COMP17 compran a 25, 24, 21, 11 y 11 agroindustrias, respectivamente. Esto es posible dado que los actores en realidad conforman una categoría donde están adheridos varias empresas. Por ejemplo, el actor COMP08 corresponde a misceláneas de todo el país, mientras que el actor COMP19 corresponde a tiendas de autoservicio a nivel nacional.

El volumen de producto se puede apreciar en el grosor de las relaciones (flechas), a mayor grosor mayor volumen de producto intercambiado. En general no existe una diferencia significativa en el intercambio comercial del azúcar y de productos.

Algunos indicadores de la red se presentan en la siguiente tabla. Los indicadores de centralización reflejan la concentración de las relaciones en ciertos actores. Se puede observar que el valor del índice de centralización de entrada es mayor al de salida, esto se debe básicamente a que hay más vendedores que compradores. Es decir, en el mercado existen mayor cantidad de ofertantes que demandantes, debe recordarse que las agroindustrias son demandantes cuando se trata de la red comercial de compra, y son ofertantes cuando se trata de la red comercial de venta.

Tabla 67. Indicadores de la red comercial de la agroindustria azucarera.

Indicadores	Número/Índice
Número de actores (nodos)	103
Relaciones existentes	202
Centralización (entrada)	23.03 %
Centralización (salida)	5.04 %
Densidad	1.92 %

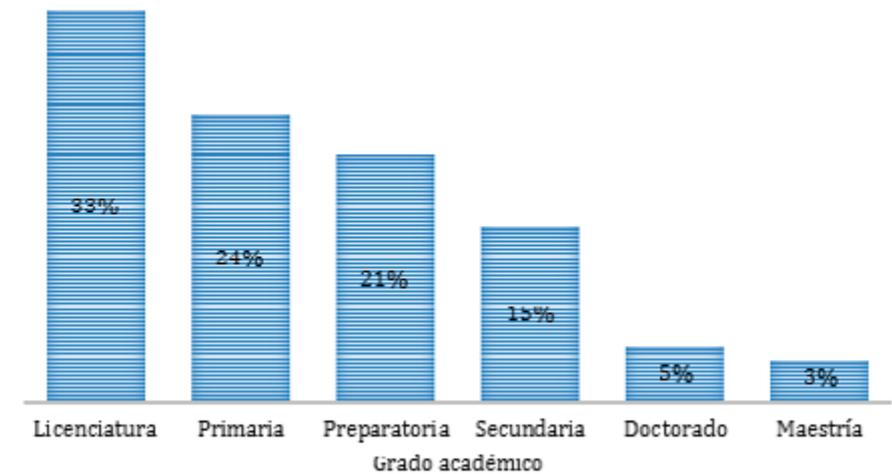
Fuente: elaboración propia.

El indicador de densidad muestra las relaciones existentes de las posibles, por lo que el valor puede interpretarse como sigue: “de cien relaciones posibles solo están concretándose alrededor de dos”.

#### 4.7 La red comercial de los consumidores de azúcar de caña

Se entrevistaron a 150 consumidores cuyas características son: edad mínima de 19 años, edad máxima de 67 años y edad promedio de 41 años. Por otro lado, alrededor de una tercera parte de los consumidores encuestados tienen un grado académico de licenciatura, seguido de primaria y preparatoria. Esto refleja la entrevista a consumidores con nivel educativo elevado y mayores de edad.

Figura 96. Distribución del grado académico de los clientes entrevistados.



Fuente: elaboración propia con base en encuestas aplicadas.

La mayoría de los encuestados son técnicos especialistas, seguidos por profesionistas de diversos tipos y empleados de diferentes instituciones.

Figura 97. Ocupación de los consumidores de azúcar de caña entrevistados.



Nota: profesionistas refiere a maestros, psicólogos, contadores, doctores, veterinarios, reposteros, administradores, matemáticos, ingenieros, enfermeros, arquitectos, abogados, administradores, diseñadores; técnico especialista refiere a taxistas, tablero, pescadores, pasteleros, panaderos, mecánicos, herrero, electricista, comerciante, chofer, albañiles, vendedores campesinos y técnicos en general; empleados de una institución refiere docentes, asistentes educativos, asalariados, trabajadores de gobierno, empleados de mostrador, gerentes de venta y agentes de viaje; Hogar refiere a amas de casa y trabajadores (as) del hogar.

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

El mayor porcentaje de los encuestados compran el azúcar en tiendas de autoservicio, seguido de las tiendas de la esquina, abarrotes y tianguis.

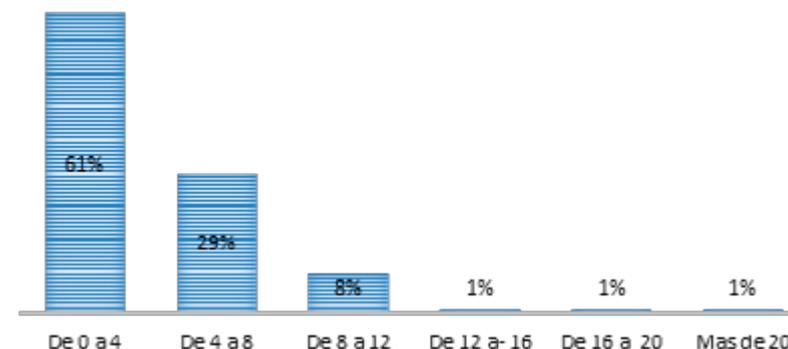
Tabla 68. Importancia de los puntos de venta de azúcar de caña.

Punto de venta	Porcentaje ( % )
Tiendas de autoservicios	35
Tienda de la esquina	24
Tiendas de abarrotes	15
Tianguis	14
Mercado	11
Tiendas departamentales	1

Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

El 90 % de los encuestados son consumidores minoristas, pues consumen máximo ocho kilogramos de azúcar al mes, esto explica los puntos de venta donde compran el azúcar de caña los consumidores.

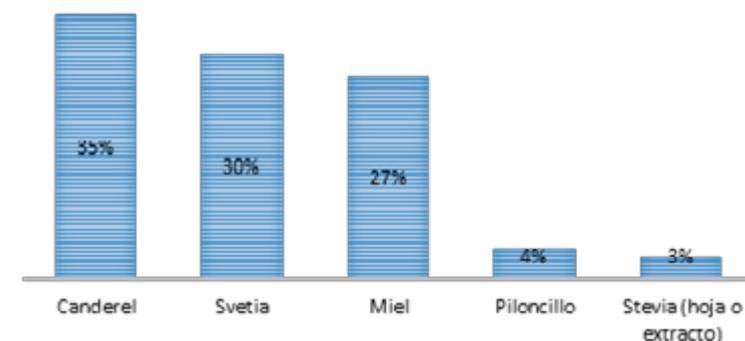
Figura 98. Rangos de consumo de azúcar reportados por los consumidores (kg).



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Por otra parte, el 57 % de los encuestados afirma no consumir otro tipo de edulcorante para endulzar sus alimentos. Los edulcorantes sustitutos de azúcar de caña que usan el 43 % de los consumidores, en orden de mayor a menor importancia, son: canderel, svetia, miel, piloncillo y estevia (hoja o extracto).

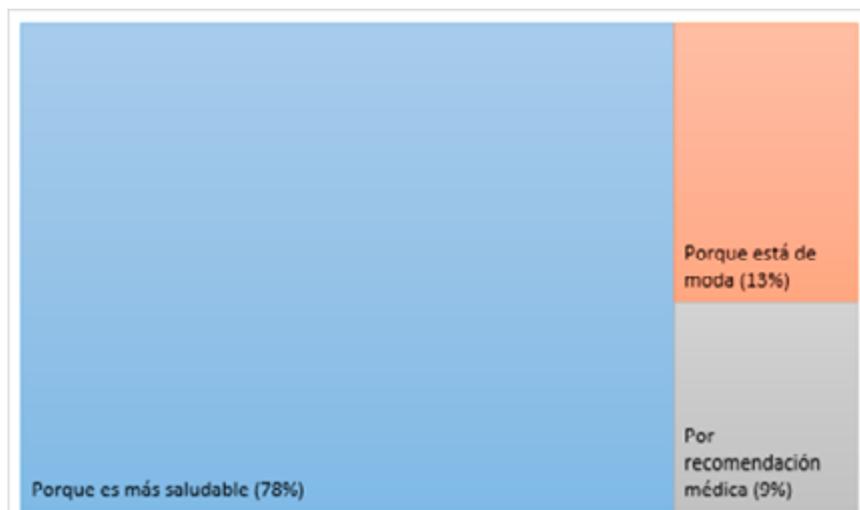
Figura 99. Edulcorantes sustitutos de azúcar de caña.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Las principales razones reportadas por los encuestados tienen su respaldo en la salud, en la moda, y un bajo porcentaje por recomendación médica.

Figura 100. Razones por las que los consumidores prefieren otros edulcorantes diferentes del azúcar de caña.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

El 31 % de los consumidores encuestados reportan que su frecuencia de consumo de bebidas endulzadas con azúcar de caña va de dos a tres veces por semana.

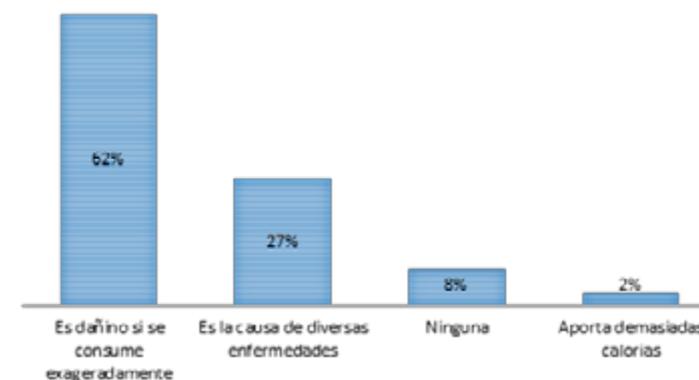
Figura 101. Frecuencia de consumo de bebidas endulzadas con azúcar de caña.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

Finalmente, la percepción que tienen dos terceras partes de los consumidores encuestados acerca del consumo del azúcar es que es dañino para la salud y que está ligado a diversas enfermedades. No obstante, un pequeño grupo de consumidores respondió que el azúcar no tiene ningún efecto negativo y otro grupo relaciona el consumo de azúcar de caña con un aumento de peso corporal, debido a que aporta demasiadas calorías.

Figura 102. Percepción acerca del consumo de azúcar de caña.



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

#### 4.7.1 Análisis de la red comercial

El proceso de mapeo para la red de distribución y comercialización de productos en consumidores finales permitió la identificación de 156 actores (Tabla 69), de los cuales 150 corresponden a los actores entrevistados cuya clave de actor es CF. Los seis restantes son grupos de actores agrupados en grandes categorías con la clave VEND y corresponden a expendios o puntos de venta donde es posible adquirir los productos elaborados por las agroindustrias.

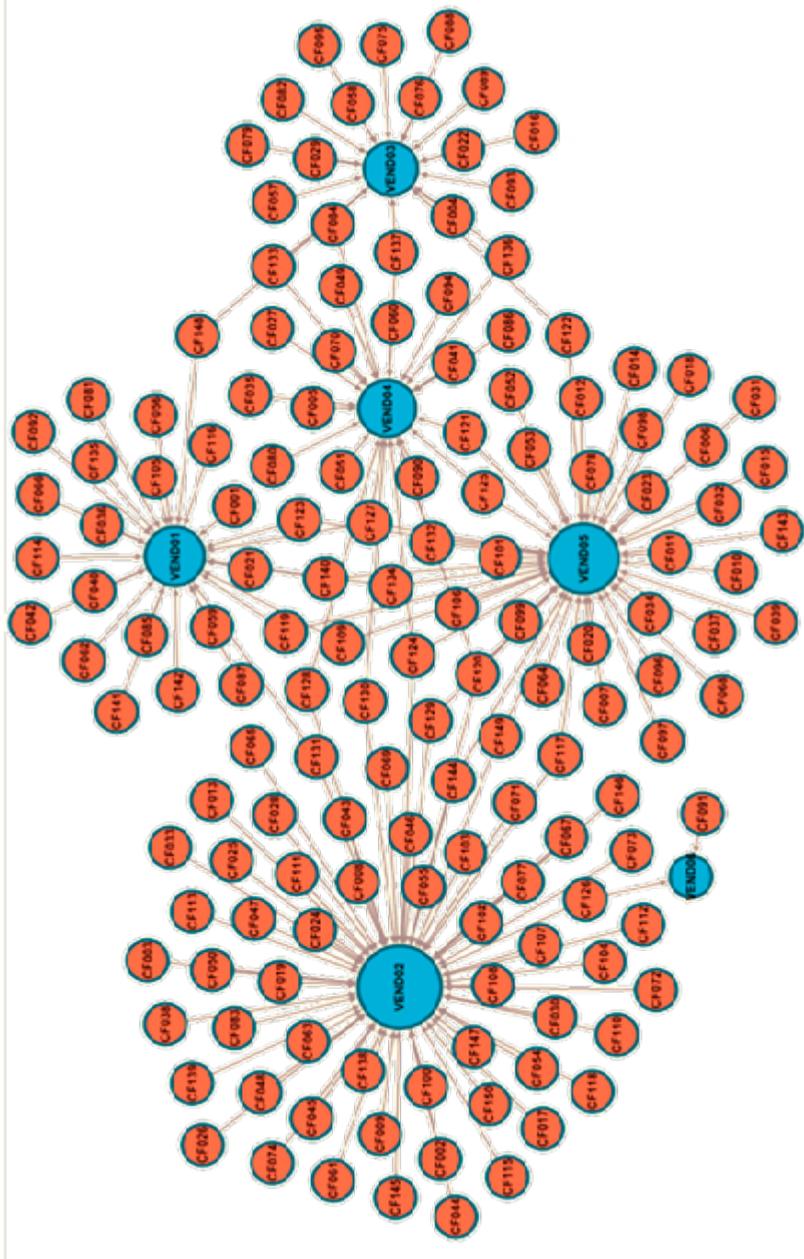
Los actores identificados en la red comercial de los consumidores finales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 69. Actores identificados en la red de comercial de consumidores finales.

Tipo de actor	Clave	Número de actores
Consumidores finales	CF	150
Puntos de venta	VEND	6
<b>Total de actores identificados</b>		<b>156</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 103. Red comercial de los consumidores finales.



Fuente: elaboración propia.

Los 156 actores identificados presentan una interacción como la que se muestra en la figura 103. Para graficar la figura se entrevistaron a 150 personas en distintos puntos comerciales, a quienes se les preguntó *¿Lugar donde compra comúnmente el azúcar que consume?* Las respuestas estaban predefinidas en las siguientes opciones: i) tiendas departamentales; ii) tiendas de autoservicio; iii) tiendas de abarrotes; iv) mercado; v) tianguis, y vi) tienda de la esquina. Los actores que integran la red comercial de consumidores finales pueden identificarse con detalle en el Anexo.

La representación gráfica permite apreciar la concentración de las relaciones comerciales en pocos actores. La diversidad de opciones que tienen los consumidores para adquirir el azúcar que consumen es enorme, lo que se traduciría en muchísimos actores referidos que hacen poco viable su análisis y su interpretación; razón por la cual se haya decidido agruparlos categorizando los puntos de venta para reducirlos a seis. Lo anterior se refleja en la concentración de relaciones en solo seis actores. También es posible observar que la mayoría de los encuestados refieren a un punto de venta como el lugar donde compran el azúcar que consumen en su hogar; sin embargo, algunos más refirieron dos puntos de venta y los actores CF120, CF124 y CF127 refirieron a tres de las seis opciones de compra.

Con relación a la estructura de la red, este tipo de redes se conocen como “red de decisiones centralizadas”, esto implica que sólo unos cuantos actores “dominan la red”. Al igual que en las redes comerciales analizadas en las secciones anteriores, el número de relaciones está relacionado con el tamaño de los nodos, a mayor tamaño mayores relaciones comerciales, esto último aplica para los vendedores de productos.

De los seis puntos de venta, destaca el actor VEND02, con 62 menciones de un total de 177; le siguen los actores VEND05 y VEND01, con 43 y 27 menciones, respectivamente.

Algunos indicadores de la red se presentan en la siguiente tabla. Los indicadores de centralización reflejan la concentración de las relaciones en ciertos actores, así para esta red estos valores son más altos que los correspondientes a las redes anteriores. Se puede observar que el valor del índice de centralización de entrada es mayor al de salida, esto se debe básicamente a que hay más consumidores que puntos de venta donde se pueden adquirir los productos.

Tabla 70. Indicadores de la red comercial de la agroindustria azucarera.

Indicadores	Número/Índice
Número de actores (nodos)	156
Relaciones existentes	177
Centralización (entrada)	39.78 %
Centralización (salida)	1.22 %
Densidad	0.73 %
Tiendas departamentales	1

Fuente: elaboración propia.

El indicador de densidad indica las relaciones existentes, de las posibles, por lo que el valor puede interpretarse como sigue: “de diez mil relaciones posibles sólo están concretándose 73”. Que la densidad tenga un valor muy bajo no debe interpretarse como algo negativo, esto está condicionado a las posibles relaciones; sin embargo, dado el sentido de la pregunta no es posible establecer una relación comercial entre los consumidores finales. Es decir, un consumidor final necesariamente compra el producto en un punto de venta y no con un semejante.

#### 4.8 Conclusiones

El análisis de los diversos actores vinculados a la cadena productiva del azúcar de caña permitió elaborar una aproximación de la red de valor en la que interactúan y el rol que cada uno desempeña. Derivado del análisis descriptivo de los eslabones de proveedores, industrializadores y consumidores de la red de valor de azúcar de caña, se puede concluir que la importancia de la producción de caña de azúcar está dada por la distribución de las producciones establecidas en 15 estados del país, sin embargo, Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí son los estados con mayor reporte de volumen de producción.

El mapeo detallado de actores de los proveedores derivó en una red comercial de venta, donde los ingenios proveen de materia prima (azúcar) a las agroindustrias. Se identificaron un total de 126 actores, de los cuales 44.4 % corresponden a los proveedores.

Las principales calidades de azúcar que producen los ingenios son crudo, refinada, mascabado y blanco especial, de las cuales blanco especial y refinada reportan los mayores precios de venta por tonelada. Por otra parte, el 69 % de los ingenios encuestados mencionan que su expectativa de crecimiento es mantenerse en los niveles de producción actuales, mientras que el 26 % están en expansión.

El mapeo detallado de actores en la agroindustria azucarera resultó en la construcción de una red comercial de compra y una red comercial de venta. La red de compra se obtuvo a partir de la pregunta realizada a las agroindustrias ¿A quién compran el azúcar que utilizan para elaborar sus productos?; y la red de venta se obtuvo con la pregunta ¿A quién vende los productos que elabora? Se obtuvo un total de 103 actores.

Por otra parte, la mayoría de las industrias se ubican en el Estado de México y los principales proveedores de las industrias son del estado de Veracruz. No obstante, los proveedores con mejores precios de venta se ubican en Nayarit; por último, los principales usos que dan las empresas al azúcar de caña son en la elaboración de refrescos, panificación y dulces.

Ninguno de los industrializadores entrevistados afirma haber sustituido completamente el uso de caña de azúcar por otro tipo de edulcorante. Más del 60 % de las agroindustrias se encuentran en etapa de innovación de sus productos mediante la inclusión de edulcorantes, las principales causas son: i) porque los consumidores finales

ejercen presión por el consumo de otro tipo de edulcorantes; ii) el consumo de azúcar está asociado a efectos dañinos de salud, y iii) existe mayor rendimiento industrial.

El mapeo detallado de actores en los consumidores permitió precisar la importancia que tienen las tiendas de autoservicio, pues una tercera parte de los entrevistados refirieron a éstas como el lugar donde compran el azúcar que utilizan en su hogar. Aquí se identificaron un total de 156 actores, de los cuales 150 fueron los entrevistados y los seis restantes son los posibles puntos de venta donde se pueden comprar productos elaborados a partir de la caña de azúcar.

El 43 % de los consumidores encuestados sí conocen y consumen otros tipos de edulcorante como Canderel, Svetia, miel, piloncillo y estevia (hoja o extracto), las principales razones de este comportamiento son por salud y porque está de moda. La tendencia de los consumidores hacia el consumo de productos más saludables y con bajo contenido calórico sugiere que las industrias deben generar productos más apropiados.

#### 4.9 Anexo

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña.

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
ALPURA - CDMX	AGR01	LUIS ANTONIO RUIZ NOLASCO	CF078
AZÚCAR DULCE DÍA SA DE CV - CDMX	AGR02	MIRELLA ISIDRO ÁLVAREZ	CF079
BEPENSA BEBIDAS S.A. DE C.V. - QROO	AGR03	JUANA AVENDAÑO TORRES	CF080
BIMBO DEL GOLFO S.A. DE C.V.	AGR04	GUSTAVO LÓPEZ MARTÍNEZ	CF081
BIMBO S.A. DE C.V. PUEBLA	AGR05	MARÍA LUISA CANÚN GÓNGORA	CF082
BIMBO SURESTE	AGR06	SUSANA ROJAS MORALES	CF083
CADBURY ADAMS MÉXICO, S DE RL DE CV - CDMX	AGR07	VÍCTOR PÉREZ GRAJALES	CF084
CHOCOLATE IBARRA - JALISCO	AGR08	MARCO RAMÍREZ KUU	CF085
COCA COLA FEMSA LEÓN	AGR09	MOISÉS TORRES CANÚN	CF086
COCA COLA PLANTA OJUELOS - EDOMEX	AGR10	BERTHA ALDANA MARTÍNEZ	CF087
CIA PANAMERICANA DE COMERCIO SA DE CV -ZAPOPAN, JAL.	AGR11	ELOISA PÉREZ GÓNGORA	CF088
DANONE DE MÉXICO - -CDMX	AGR12	REMEDIOS GÓNGORA ROJAS	CF089
DULCES DE LA ROSA - JALISCO	AGR13	SERGIO CANTO HERNÁNDEZ	CF090
DULCES VERO - JALISCO	AGR14	YOLANDA TORRES MIRANDA	CF091
EL PUMA ABARROTERO - CDMX	AGR15	LOURDES MATA NOLASCO	CF092

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña (continuación).

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
EMBOTELLADORA METROPOLITANA PEPSI -CDMX	AGR16	REBECA MATÍAS TÉLLEZ	CF093
GRUPO BIMBO SA DE CV OCCIDENTE	AGR17	DANIEL MARTÍNEZ BOUSAS	CF094
GRUPO EMBOTELLADORA CIMSA SA DE CV	AGR18	ROSARIO BAUTISTA GÓNGORA	CF095
GRUPO GAMESA S.R.L. DE C.V. - CDMX	AGR19	ARMANDO CALDERÓN NOLASCO	CF096
GRUPO HERDEZ S.A. DE C.V. - CDMX	AGR20	JULIÁN TORRES MARTÍNEZ	CF097
GRUPO INDUSTRIAL AZUCARERO DE OCCIDENTE SA DE CV - CDMX	AGR21	ANTONIA CADENA MORALES	CF098
GRUPO JUMEX SA DE CV - CDMX	AGR22	PEDRO ÍÑIGUEZ HERNÁNDEZ	CF099
GRUPO PEÑAFIEL - PUEBLA	AGR23	RAMIRO GÓNGORA CADENA	CF100
JUGOS DEL VALLE CUAJIMALPA	AGR24	VICENTE SATURNINO MORENO	CF101
JUGOS DEL VALLE TEPOTZOTLÁN	AGR25	ELVIA OCAMPO DELGADO	CF102
KELLOGGS COMPANY DE MÉXICO S. DE R.L. DE C.V. QUERÉTARO	AGR26	CHRISTIÁN LOPEZ PALACIOS	CF103
KELLOGGS COMPANY MÉXICO S DE RL DE CV EDOMEX	AGR27	ISRAEL NOO CUXIN	CF104
KRAFT FOODS MÉXICO - JALISCO	AGR28	JOSUÉ HERNÁNDEZ LEMUS	CF105
LA GRAN D SA DE CV	AGR29	JORGE GONZÁLEZ CHÁVEZ	CF106
MARINELA BIMBO AZCAPOTZALCO	AGR30	RAMÓN CHÁVEZ ESPINOZA	CF107
McCORMICK PESA SA DE CV	AGR31	EDUARDO MARTÍNEZ TENANGO	CF108
METCO SA DE CV CDMX1	AGR32	OMAR PASTOR ZARANDONA	CF109
METCO SA DE CV CDMX2	AGR33	GLADYS MAGAA OROZCO	CF110
MONDELEZ INTERNACIONAL - CDMX	AGR34	IRMA TINOCO CORTÉS	CF111
NESTLÉ MÉXICO SA DE CV COATEPEC, VER.	AGR35	MIGUEL LEMUS LEYVA	CF112
NESTLÉ MÉXICO SA DE CV CDMX	AGR36	JORGE JIMÉNEZ JUÁREZ	CF113
RICOLINO TOLUCA	AGR37	LUIS ALBERTO ORDAZ GONZÁLEZ	CF114
SIGMA ALIMENTOS - JALISCO	AGR38	EFRAÍN MARTÍNEZ TORRIJOS	CF115
SOCIEDAD COOPERATIVA TRABAJADORES PASCUAL HIDALGO	AGR39	ROBERTO ALMENGOR GÓNGORA	CF116
SOCIEDAD COOPERATIVA TRABAJADORES PASCUAL QUERÉTARO	AGR40	ARACELI JUÁREZ GONZÁLEZ	CF117

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña (continuación).

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
ALIMENTOS MEZCLADOS DE MÉXICO	AGR41	PAOLA SÁNCHEZ MORA	CF118
ALPURA	AGR42	MANUEL CHÁVEZ NÚÑEZ	CF119
AZÚCAR DULCE DÍA	AGR43	JOCABED GARCILAZO GARCÍA	C120
AZÚCARES SELECTOS DE MÉXICO SA DE CV	AGR44	JOSÉ SERGIO CORNEJO CARRILLO	CF121
BEPENSA SA DE CV	AGR45	FABIOLA GALICIA GARCÍA	CF122
BIMBO - CDMX	AGR46	MARIO ALBERTO BIBLES MARTÍNEZ	CF123
BIMBO - QRO	AGR47	LIZETH BENÍTEZ DOMÍNGUEZ	CF124
BIMBO - ZAPOPAN	AGR48	ALFONSO SÁNCHEZ FLORES	CF125
CADBURY ADAMS MÉXICO	AGR49	HUGO GUERRERO BAUTISTA	CF126
CASA ALONSO	AGR50	XAVIER GARCÍA OSCIO	CF127
COCA COLA - CAMPECHE	AGR51	ANGÉLICA MUÑOZ LAZCANO	CF128
COCA COLA - CDMX	AGR52	MIGUEL ANGÉL MÉNDEZ BELTRÁN	CF29
COCA COLA - QRO	AGR53	STEPHANY ROMÁN FERNÁNDEZ	CF130
COCA COLA - OAXACA	AGR54	JORGE ALBERTO MELCHOR AMEZCUA	CF131
COCA COLA - NAY	AGR55	GUSTAVO LICEA RODRÍGUEZ	CF132
COMPAÑÍA PANAMERICANA DE COMERCIO SA DE CV.	AGR56	DENISE NAVARRETE ROJAS	CF133
CULTIBA PEPSICO - SINALOA	AGR57	SAÚL MORÍN MIRANDA	CF134
CULTIBA PEPSICO - JALISCO	AGR58	VIOLETA VARELA LEMUS	CF135
CULTIBA PEPSICO - MICH.	AGR59	JORGE LEÓN ALCÁNTARA	CF136
DIVISION AZÚCAR GRUPO PORRES SA DE CV.	AGR60	WILLY LEMUS LEMUS	CF137
FEMSA	AGR61	CINTHIA SERRANO ALMANZA	CF138
FLORIDA CRYSTAL	AGR62	MARELY REYES CALDERÓN	CF139
GARCÍA ALIMENTOS SA DE CV	AGR63	DAVID MALDONADO HERNÁNDEZ	CF140
GRUPO AZUCARERO	AGR64	LAURA MEDELLÍN APARICIO	CF141
GRUPO BETA SAN MIGUEL	AGR65	HÉCTOR REYES ROSAS	CF142
GRUPO MODELO	AGR66	MARCO ANTONIO REYES PADILLA	CF143
GRUPO PORRES	AGR67	DAVID MORENO MARTÍNEZ	CF144
GRUPO SÁENZ	AGR68	IRIS SUÁREZ QUIJADA	CF145
GRUPO SANTOS	AGR69	SAGRARIO ABIGAIL SÁNCHEZ PARRA	CF146
GRUPO ZUCARMEX	AGR70	LILIANA GARCÍA CANO	CF147
IBARRA	AGR71	CONCEPCIÓN JIMÉNEZ CARRILLO	CF148

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña (continuación).

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
KELLOGGS	AGR72	LUIS ZÚÑIGA KORRUDI	CF149
KRAFT - CDMX	AGR73	SEBASTIÁN LEÓN ZETINA	CF150
KRAFT - JALISCO	AGR74	ABARROTEROS MAYORISTAS	COMP01
LA CORONA	AGR75	CHOCOLATE IBARRA - JALISCO	COMP02
LA MODERNA	AGR76	DANONE - JALISCO	COMP03
LALA - CDMX	AGR77	DE LA ROSA - JALISCO	COMP04
LALA - QRO.	AGR78	McCORMICK - JALISCO	COMP05
METRO SA DE CV	AGR79	MERCADOS - NL - TAMPS	COMP06
MÉXICO SA DE CV	AGR80	MERCADOS - CDMX	COMP07
MOTZORONGO	AGR81	MISCELÁNEAS - NACIONAL	COMP08
NESTLÉ	AGR82	MINORISTAS - NL - TAMPS	COMP09
PASCUAL	AGR83	MINORISTAS - CDMX	COMP10
PEPSICO - CDMX	AGR84	MISCELÁNEAS - NL - TAMPS	COMP11
PEPSICO - JALISCO	AGR85	MISCELÁNEAS - CDMX	COMP12
PEPSICO USA - CDMX	AGR86	PANIFICADORAS - CDMX	COMP13
PEPSICO USA - KANSAS CITY	AGR87	SIDRAL AGA - JALISCO	COMP14
RICOLINO - JALISCO	AGR88	SIGMA ALIMENTOS - JALISCO	COMP15
RICOLINO - SLP	AGR89	SORIANA - JALISCO	COMP16
SUCROLIA SAPI DE CV - MONTERREY	AGR90	SUPERMERCADOS - NACIONAL	COMP17
TEPIC NAYARIT	AGR91	TIENDAS DE ABARROTES - JALISCO	COMP18
JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RODRÍGUEZ	CF001	TIENDAS DE AUTOSERVICIO - NACIONAL	COMP19
EDUARDO TÉLLEZ HERNÁNDEZ	CF002	TIENDAS DE CONVENIENCIA - NACIONAL	COMP20
SONIA LOMELÍ GUTIÉRREZ	CF003	TIENDAS DEPARTAMENTALES - NACIONAL	COMP21
RAMIRO BLANDÓN	CF004	TIENDAS OXXO - JALISCO	COMP22
ROSA MARÍA GUTIÉRREZ CARDONA	CF005	WALMART - JALISCO	COMP23
LUCÍA CRUZ ÁLVAREZ	CF006	WALMART - NACIONAL	COMP24
MARÍA CONSUELO GUERRERO ACOSTA	CF007	MAYORISTAS - NACIONAL	COMP25
GUADALUPE RICO ANDRADE	CF008	CENTRALES - NACIONAL	COMP26
ALEJANDRA PADILLA AGUILAR	CF009	LEY - JALISCO	COMP27
MANUEL LÓPEZ MORENO	CF010	WALMART	COMP30
JOSÉ ANTONIO RICO VARGAS	CF011	WALMART	COMP31

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña (continuación).

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
CONCEPCIÓN RUBIO GALVÁN	CF012	SORIANA	COMP32
FIDEL PICHARDO HERNÁNDEZ	CF013	INGENIO ALIANZA POPULAR SA DE CV	ING01
DOLORES OVIEDA MEDINA	CF014	INGENIO ATENCINGO SA DE CV	ING02
JOSÉ BONIFACIO GARCÍA MONZÓN	CF015	CÍA AZUCARERA INGENIO BELLAVISTA SA DE CV	ING03
JULIANA AGUILLÓN MATA	CF016	INGENIO CASASANO LA ABEJA SA DE CV	ING04
MARICELA OLVERA AGUILAR	CF017	INGENIO CENTRAL PROGRESO SA DE CV	ING05
MARÍA CAROLINA RUIZ GUERRERO	CF018	INGENIO CONSTANCIA SA DE CV	ING06
ROCIO JIMÉNEZ GONZÁLEZ	CF019	INGENIO PUGA SA	ING07
BERNARDO PACHECO GARAY	CF020	INGENIO EL CARMEN SA DE CV	ING08
SERGIO CORDADO LÓPEZ	CF021	INGENIO EL HIGO SA DE CV	ING09
SERVANDO BAEZA RUIZ	CF022	INGENIO EL MANTE SA DE CV	ING10
ADRIÁN ÁVILA PACHECO	CF023	INGENIO EL MODELO SA	ING11
RODOLFO PÉREZ ORDAZ	CF024	INGENIO EL POTRERO	ING12
ARGELIA MALDONADO VARGAS	CF025	EL REFUGIO SA DE CV	ING13
BELÉN LUGO HERNÁNDEZ	CF026	INGENIO EMILIANO ZAPATA SA DE CV	ING14
PILAR SOTELO MAYA	CF027	INGENIO JOSÉ MARÍA MORELOS SA. DE CV	ING15
JOSE LUIS LEDEZMA OSORIO	CF028	INGENIO AZUCARMEX SA DE CV	ING16
MARGARIATA IBARRA VILLEGAS	CF029	INGENIO LA GLORIA SA	ING17
RAFAEL MONDRAGÓN MORENO	CF030	INGENIO LA MARGARITA SA DE CV	ING18
FAUSTINO MOLINA PIÑA	CF031	INGENIO LA PROVIDENCIA SA DE CV	ING19
MARÍA CELINA SÁNCHEZ GONZÁLEZ	CF032	INGENIO ADOLFO LÓPEZ MATEOS SA DE CV	ING20
MARIANA CORTÉS MARCIAL	CF033	INGENIO MAHUIXTLÁN SA DE CV	ING21
JOSÉ TRINIDAD GARFIAS NIETO	CF034	INGENIO NUEVO SAN FRANCISCO SA DE CV	ING22
JOSÉ CHAPARRO GARCÍA	CF035	INGENIO PLAN DE AYALA	ING23
DOMIGO NAVARRETE RICO	CF036	INGENIO QUESERÍA SA DE CV	ING24
ABEL CRUZ OLVERA	CF037	INGENIO SAN CRISTÓBAL	ING25
PAOLA RESÉNDIZ OLGUÍN	CF038	INGENIO SAN MIGUEL DEL NARANJO SA DE CV	ING26
FAUSTINO CAMACHO LÓPEZ	CF039	INGENIO SAN MIGUELITO SA	ING27

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña (continuación).

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
MARÍA DE LA PAZ REYES RESÉNDIZ	CF040	INGENIO SAN RAFAEL PUENTE SA DE CV	ING28
CARMEN RÍOS GUDIÑO	CF041	INGENIO TRES VALLES	ING29
RAYMUNDO MORENO MORENO	CF042	INGENIO LÁZARO CÁRDENAS SA DE CV	ING30
ELVIRA URIBE ALEGRÍA	CF043	INGENIO CALIPAM SA DE CV	ING31
MARÍA ADELA VÁZQUEZ GARCÍA	CF044	INGENIO DE HUIXTLA SA DE CV	ING32
DULCE MARÍA SILVIA GUZMÁN	CF045	INGENIO EL DORADO SA.	ING33
JOSÉ EDUARDO REYNA RESÉNDIZ	CF046	INGENIO EL MOLINO SA DE CV	ING34
ESTHER JIMÉNEZ ALEGRÍA	CF047	INGENIO LA ABEJA SA DE CV	ING35
FRANK MORENO UGALDE	CF048	INGENIO LA JOYA SA DE CV	ING36
LUZ ELENA MENTADO TREJO	CF049	INGENIO MELCHOR OCAMPO SA DE CV	ING37
ALEJANDRINA PADILLA TREJO	CF050	INGENIO PEDERNALES SA DE CV	ING38
ROSA MACÍAS RODRÍGUEZ	CF051	INGENIO PLAN DE SAN LUIS SA DE CV	ING39
LETICIA CALDERÓN TORRES	CF052	INGENIO PRESIDENTE BENITO JUÁREZ SA DE CV	ING40
MARICRUZ ORTEGA	CF053	INGENIO SAN FRANCISCO AMECA SA DE CV	ING41
JESSICA CATALÁN	CF054	INGENIO SAN GABRIEL SA DE CV	ING42
IMELDA HERNÁNDEZ	CF055	INGENIO SAN JOSÉ DE ABAJO SA DE CV	ING43
FRANCISCO GUTIÉRREZ	CF056	INGENIO SAN NICOLÁS SA DE CV	ING44
MARÍA DE JESÚS VALDESPINO MORALES	CF057	INGENIO SANTA ROSALIA DE LA CHONTALPA	ING45
CATALINA BOUSAS GONZÁLEZ	CF058	INGENIO TALA SA DE CV	ING46
ROBERTO SANDOVAL KUU	CF059	INGENIO TAMAZULA SA DE CV	ING47
AGUSTÍN PECH TORRES	CF060	INGENIO SANTA CLARA SA DE CV	ING48
ROCÍO PUCK TORRES	CF061	FOMENTO AZUCARERO DEL GOLFO SA DE CV	PROV01
EDGARDO BAUTISTA MARTÍNEZ	CF062	GRUPO ZUCARMEX - CDMX	PROV02
JORGE MARTÍNEZ RODRÍGUEZ	CF063	GRUPO BETA SAN MIGUEL - CDMX	PROV03
REBECA GONZÁLEZ MORALES	CF064	CENTRAL MOTZORONGO - VERACRUZ	PROV04
FÁTIMA RASGADO MENCHACA	CF065	CÍA AZUCARERA SAN PEDRO - VERACRUZ	PROV05
ALEJANDRO BOUSSA MARTÍNEZ	CF066	AZUCARERA RÍO GUAYALEJO - TAMAULIPAS	PROV06

Tabla 71. Catálogo de actores de las redes comerciales de azúcar de caña (continuación).

Nombre del actor	Clave del actor	Nombre del actor	Clave del actor
NORMA CHICUELLA SIERRA	CF067	ZUCARMEX - VERACRUZ	PROV07
JESÚS CANUL GÓNGORA	CF068	CÍA AZUCARERA INDEPENDENCIA SA DE CV	PROV08
ROBERTO CANUL MARTÍNEZ	CF069	CÍA AZUCARERA LA CONCEPCIÓN SA DE CV	PROV09
LORENA TORRES CANUL	CF070	CÍA AZUCARERA LA FE SA DE CV	PROV10
BRAULIO KUU MARTÍNEZ	CF071	CÍA INDUSTRIAL AZUCARERA SA DE CV	PROV11
RAMIRO CANUL RODRÍGUEZ	CF072	TIENDAS DE ABARROTÉS	VEND01
PATRICIA MORALES GÓNGORA	CF073	TIENDAS DE AUTOSERVICIO	VEND02
BLANCA CHÁVEZ TAPIA	CF074	MERCADO	VEND03
PATRICIO PÉREZ MORALES	CF075	TIANGUIS	VEND04
RENÉ CARRERA KUU	CF076	TIENDA DE LA ESQUINA	VEND05
JULIO PEÑA RICO	CF077	TIENDAS DEPARTAMENTALES	VEND06

Fuente: elaboración propia.

# 5

## La agroindustria cañera en México: actualidad y retos para la diversificación



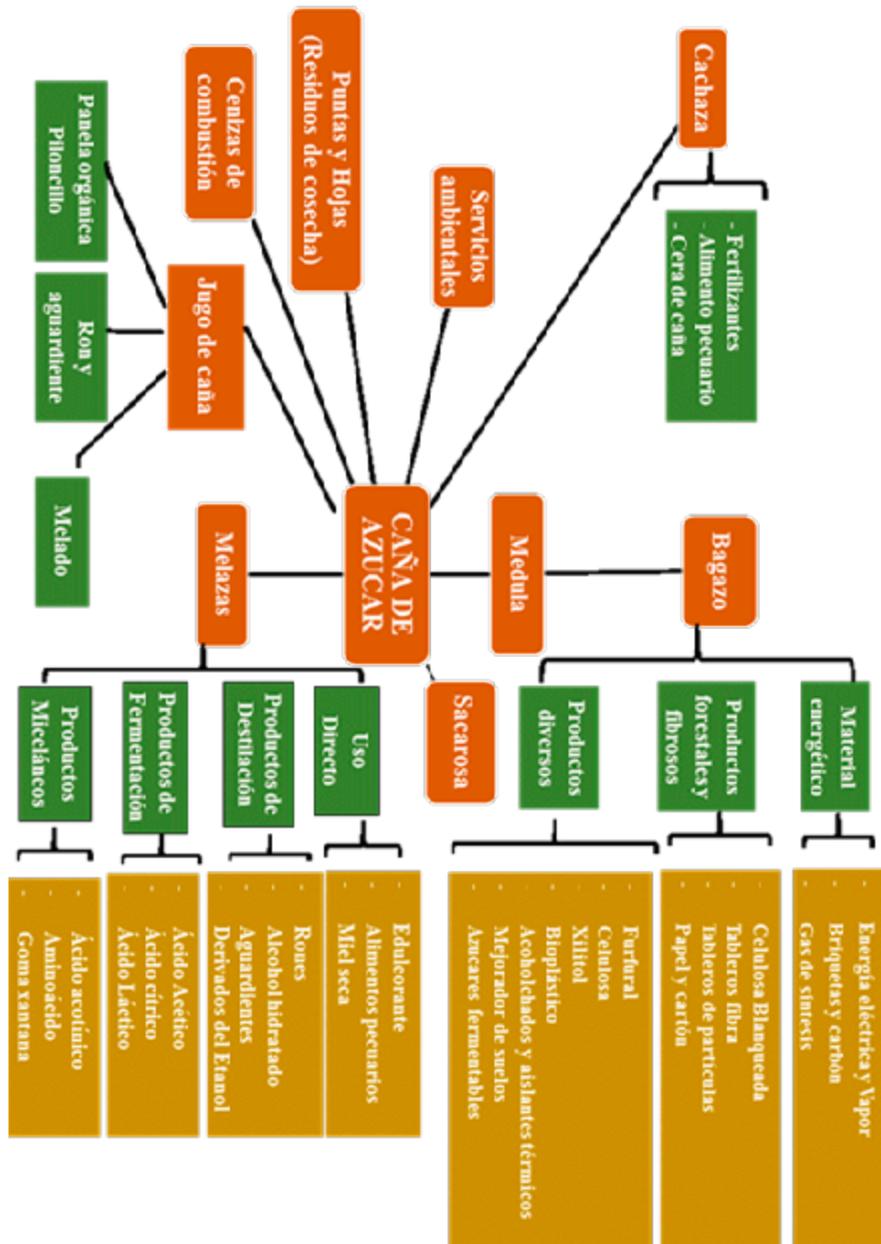
### 5.1 Resumen

En la actualidad, el producto principal de la caña de azúcar (azúcar o sacarosa) enfrenta la sustitución en el mercado por edulcorantes bajos en calorías de diversas presentaciones y agresivas campañas publicitarias sobre los peligros de salud, derivados del consumo de azúcar. Estas circunstancias han ocasionado que los productores disminuyan los costos de producción mediante la optimización, modernización y reorganización espacial de la agricultura y la industrialización de los coproductos (azúcar, etanol y melazas) y subproductos (bagazo, lodo de filtros, vinazas etc.) de esta agroindustria, mediante diversos desarrollos tecnológicos para la supervivencia de la actividad agroindustrial (Aguilar, 2012).

Aunado a ello, existe una caída en la productividad (campo y fábrica), en los precios internacionales del azúcar, disminución del consumo interno por la sustitución de sacarosa por jarabes de maíz de alta fructosa y edulcorantes no calóricos, y la inestabilidad de los precios del petróleo, entre muchos otros factores que comprometen su competitividad como actividad económica (González y Oquendo, 2002; Gálvez, 2000; Rivera, 2012). Ante este panorama, la diversificación toma especial relevancia, como una forma de acelerar la viabilidad económica de la producción agroindustrial a largo plazo, mediante la mejora en la rentabilidad y la estabilidad general del sector (Rivera, 2012). Significa una alternativa tecnoeconómica competitiva en diversas economías azucareras, para aumentar ingresos y contrarrestar la volatilidad del precio internacional de azúcar al disminuir costos de producción e impactos ambientales, al convertir subproductos en materias primas para derivados de nuevos ciclos productivos como cogeneración de energía, etanol combustible, compostas e incluso forraje, entre otros usos a nivel agroindustria (Aguilar, 2012). Actualmente, la diversificación resulta una oportunidad que tienen los cañeros para dar un valor agregado que pueda otorgar un aumento en el precio de sus productos, pues a pesar de que existe una lista con cerca de 250 productos diversificados de la caña, documentados ampliamente en diversas bases de datos científicas (Figura 104), sólo cinco se aprovechan en México: azúcar, melazas, alcohol, bagazo para energía en los ingenios azucareros de forma marginal y bagazo para papel (Aguilar, 2012).

En el presente capítulo se muestra la dinámica de producción de caña de azúcar en México, como un panorama que permita potenciar la obtención de materia prima para la generación de coproductos (azúcar, etanol) y subproductos (melazas, bagazo, cachaza, vinazas etc.), y los avances, retos y expectativas que existen en el país con respecto a estos temas.

Figura 104. Diversificación de los usos de caña.



Fuente: elaboración propia.

## 5.2 Dinámica de la producción cañera en México

En México, el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) desempeña un papel importante dentro de la dinámica económica y social del país, por su contribución al PIB agropecuario y a la generación de empleos.

Figura 105. Distribución geográfica de las áreas de producción cañeras en México.

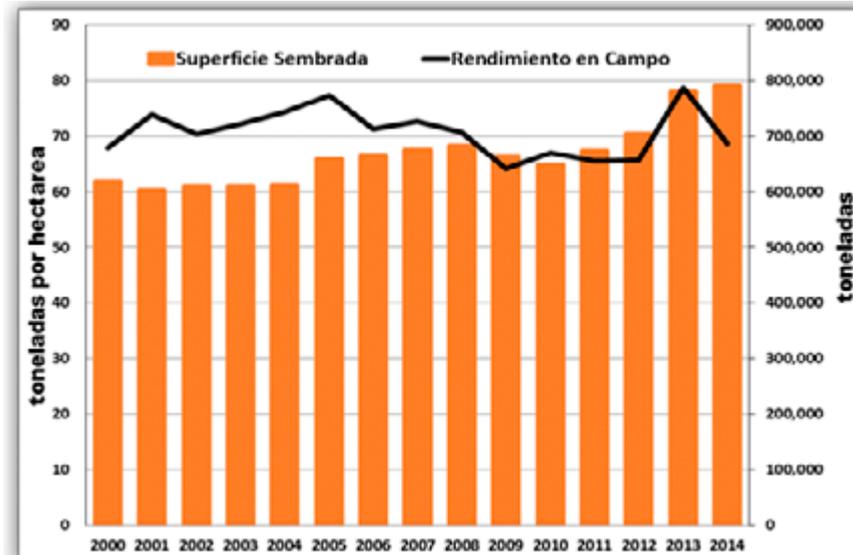


Fuente: elaboración propia a partir de datos del SIAP (2014).

La dinámica de la producción cañera nacional ha sido abordada por diferentes instituciones como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2007; SAGARPA, 2009) a través del Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, y el Proyecto Nacional de Alta Rentabilidad para el Reordenamiento y Transformación del Campo Cañero Mexicano, y Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2009; FIRA, 2010), además de autores como Aguilar *et al.* (2012), Santillán-Fernández *et al.* (2015) y otros, quienes coinciden en un modelo de producción extensivo, soportado por el amplio crecimiento de la superficie cultivada que compensa la caída de rendimientos en campo.

Para comprobar estos hallazgos, se construyeron los siguientes indicadores con datos del Sistema de Información Agrícola y Pesquera (SIAP) y el Sistema Nacional de Información de la Agroindustria Azucarera (SIAZUCAR), para el período 2000 a 2014. La Figura 106 muestra la tendencia de la superficie sembrada y los rendimientos en campo.

Figura 106. Evolución nacional de la superficie cultivada y rendimientos en campo de caña de azúcar de 2000 a 2015.



Fuente: elaboración propia.

De 2000 a 2005, los rendimientos en campo muestran una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 2.2 %, con un incremento anual de 1.6 t ha<sup>-1</sup>, al pasar de 67.9 t ha<sup>-1</sup>, a 77.3 t ha<sup>-1</sup>. De 2006 a 2014, la TMCA es -1.4 %, implica un decremento de -1.7 t ha<sup>-1</sup>, al variar de 77.3 t ha<sup>-1</sup> a 65.5 t ha<sup>-1</sup>. En tanto la superficie cultivada de 2000 a 2014 tiene una TMCA de 0.7 %, con un crecimiento anual de 6,511 ha, pasando de 619,343 ha, a 790,481 ha, lo que ubica al sector en un modelo de producción extensivo.

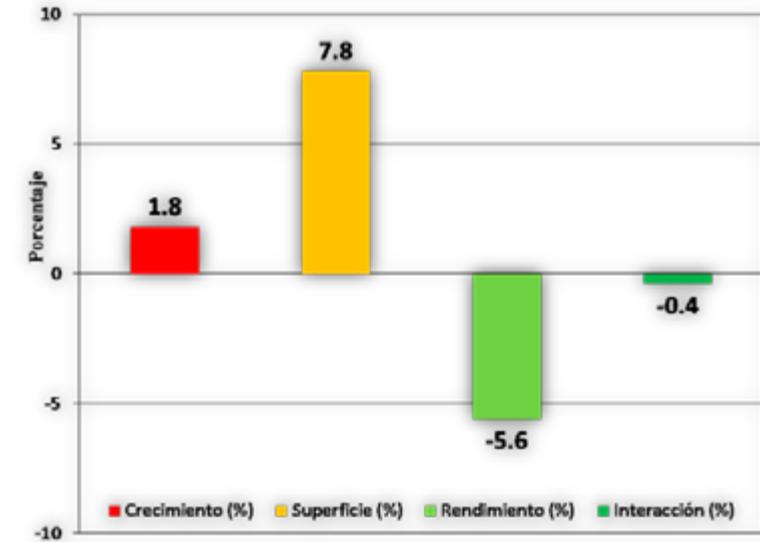
En general, el productor nacional opta por extender la superficie agrícola, a costa de actividades que presentan rentabilidades bajas en el período, como la ganadería, en lugar de adoptar algún paquete tecnológico que le implique un aumento en los rendimientos en campo (Santillán-Fernández *et al.*, 2015).

Siguiendo el método de los efectos en el crecimiento en la producción, que separa las variaciones experimentadas por la superficie cultivada, los rendimientos en campo y por la interacción (Gómez, 1994; Contreras, 2000; Aguilar *et al.*, 2004; Santillan-Fernández *et al.*, 2014) se determinó el crecimiento del campo cañero a nivel nacional y por ingenio de 2007 a 2014, respecto de 2000 a 2006.

El análisis de la composición del crecimiento en la producción de caña de azúcar a nivel nacional muestra un incremento de 1.8 % entre la producción promedio de 2000 a 2006, y la del período 2007 a 2014, lo que representa 4.8 millones de toneladas de caña, y esto se debe al aumento de la superficie cultivada, en 7.8 %, que

compensó la baja de rendimientos en campo de 5.6 % (Figura 107). Es decir, que el crecimiento de la producción en los últimos años ha sido un crecimiento extensivo asociado a los buenos precios relativos de la caña.

Figura 107. Composición del crecimiento en la producción de 2007-2014, con respecto a 2000-2006.



Fuente: elaboración propia.

El análisis de la composición del crecimiento de la producción cañera por ingenio, muestra que el 81.5 % de los ingenios que contribuyen con el 82.2 % de la superficie cultivada y el 79.9 % de la caña molida bruta, han reducido sus rendimientos en campo. Mientras que el 75.9 % de los ingenios, que representan el 83.7 % de la superficie cultivada y 83.7 % de la caña molida bruta, han incrementado la superficie cultivada. Al hacer una clasificación de los ingenios, en función de las diferentes combinaciones de crecimiento de la producción, superficie cultivada y rendimientos en campo, se obtiene la tipología presentada en la Tabla 72.

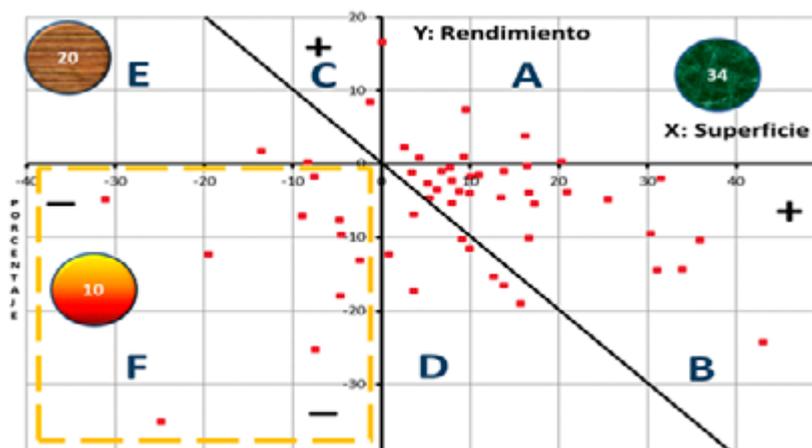
Tabla 72. Tipología de ingenios por variaciones en la producción (caña molida bruta) debido a las variaciones en superficie cultivada y rendimiento en campo para el período 2007-2014.

Tipología de ingenios	Producción	Superficie cultivada	Rendimiento en campo	Número de ingenios	Participación en %		
					Ingenios	Superficie cultivada	Caña molida bruta
A	Aumenta	Aumenta	Aumenta	7	12.96	13.96	15.96
B		Aumenta	Disminuye	26	48.15	50.86	51.92
C		Disminuye	Aumenta	1	1.85	0.72	1.13
D		Aumenta	Disminuye	8	14.82	18.87	15.85
E	Disminuye	Disminuye	Aumenta	2	3.70	3.10	3.04
F		Disminuye	Disminuye	10	18.52	12.49	12.10
Total				54	100.00	100.00	100.00

Fuente: elaboración propia.

La Figura 108 representa esta tipología a partir de los ejes de crecimiento en superficie cultivada y rendimientos en campo, incluye además una diagonal que ubica por encima a los ingenios que tienen crecimiento en la producción y por debajo a los que tienen una reducción en la misma para el período 2007-2014. En la Tabla 73 se muestra esta clasificación por ingenio.

Figura 108. Tipología de ingenios por variaciones en superficie cultivada y rendimiento en campo, de 2007 a 2014, respecto de 2000 a 2006.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 73. Tipología de ingenios construida a partir del crecimiento de la producción de caña de azúcar (Crec) como resultado de la superficie sembrada (Sup), rendimiento en campo (Rend) y la interacción entre ambos (Int).

Ingenio	Entidad	Municipio	Sup	Rend	Int	Crec	Factor	Clasificación
San Francisco Ameca	Jalisco	Ameca	20.31	0.35	0.09	20.75	Crecimiento	A
El Higo	Veracruz	El Higo	16.16	3.79	0.77	20.72	Crecimiento	A
San Miguel Del Naranjo	San Luis Potosí	El Naranjo	9.52	7.43	0.86	17.81	Crecimiento	A
La Primavera	Sinaloa	Navolato	0.09	16.61	0.02	16.72	Crecimiento	A
Zapoapita - Pánuco	Veracruz	Pánuco	9.33	0.96	0.10	10.39	Crecimiento	A
Melchor Ocampo	Jalisco	Autlán de Navarro	4.23	0.78	0.03	5.04	Crecimiento	A
Jose Ma. Martínez (Tala)	Jalisco	Tala	2.59	2.27	0.06	4.92	Crecimiento	A
La Joya	Campeche	Champotón	31.49	-1.98	-0.87	28.63	Crecimiento	B
Adolfo López Mateos	Oaxaca	San Juan Bautista	35.91	-10.44	-4.73	20.74	Crecimiento	B
La Providencia	Veracruz	Cuichapa	25.54	-4.84	-1.53	19.17	Crecimiento	B
San Nicolás	Veracruz	Cuichapa	30.39	-9.49	-3.49	17.41	Crecimiento	B
Cuatotlapam	Veracruz	Hueyapan De Ocampo	16.43	-0.24	-0.05	16.14	Crecimiento	B
Huixtla	Chiapas	Huixtla	20.89	-3.84	-0.96	16.09	Crecimiento	B
Tres Valles	Veracruz	Tres Valles	33.88	-14.30	-5.63	13.95	Crecimiento	B
El Molino	Nayarit	Tepic	13.80	-0.96	-0.15	12.68	Crecimiento	B
Atencingo	Puebla	Chietla	16.68	-3.87	-0.73	12.07	Crecimiento	B
Mahuixtlán	Veracruz	Coatepec	31.04	-14.40	-5.05	11.59	Crecimiento	B
La Gloria	Veracruz	Úrsulo Galván	17.24	-5.44	-1.05	10.75	Crecimiento	B
Emiliano Zapata	Morelos	Zacatepec	10.93	-1.49	-0.18	9.26	Crecimiento	B
Plan de San Luis	San Luis Potosí	Ciudad Valles	13.54	-4.55	-0.67	8.31	Crecimiento	B
Constancia	Veracruz	Tezonapa	10.02	-1.66	-0.18	8.18	Crecimiento	B
Nuevo San Francisco (El Naranjal)	Veracruz	Lerdo De Tejada	43.03	-24.26	-11.3	7.49	Crecimiento	B
Aarón Sáenz Garza	Tamaulipas	Xicoténcatl	7.71	-0.58	-0.05	7.08	Crecimiento	B
Casasano (La Abeja)	Morelos	Cuautla	6.80	-0.90	-0.06	5.83	Crecimiento	B
San Rafael de Pucté	Quintana Roo	Othón P. Blanco	7.97	-2.23	-0.19	5.55	Crecimiento	B
Puga	Nayarit	Tepic	9.92	-4.03	-0.42	5.47	Crecimiento	B

Tabla 73. Tipología de ingenios construida a partir del crecimiento de la producción de caña de azúcar (Crec) como resultado de la superficie sembrada (Sup), rendimiento en campo (Rend) y la interacción entre ambos (Int) (continuación).

Ingenio	Entidad	Municipio	Sup	Rend	Int	Crec	Factor	Clasificación
Quesería	Colima	Cd. Cuauh-témoc	16.67	-10.03	-1.76	4.89	Crecimiento	B
Santa Clara	Michoacán	Tocumbo	8.79	-3.67	-0.34	4.78	Crecimiento	B
Tamazula	Jalisco	Tamazula	6.28	-3.54	-0.23	2.51	Crecimiento	B
Central Progreso	Veracruz	Paso del Macho	5.20	-2.62	-0.14	2.44	Crecimiento	B
El Mante	Tamaulipas	El Mante	3.38	-1.08	-0.04	2.26	Crecimiento	B
José María Morelos	Jalisco	Casimiro Castillo	7.92	-5.39	-0.44	2.09	Crecimiento	B
Pujilic (Cía. La Fé)	Chiapas	Venustiano Carranza	5.44	-4.67	-0.25	0.51	Crecimiento	B
El Dorado	Sinaloa	Culiacán	-1.32	8.37	-0.12	6.93	Crecimiento	C
Alianza Popular	San Luis Potosí	Tamasopo	3.62	-17.29	-0.55	-14.22	Decre- cimiento	D
San Cristóbal	Veracruz	Carlos A. Carrillo	0.85	-12.32	-0.09	-11.56	Decre- cimiento	D
El Refugio	Oaxaca	Cosolapa	15.70	-19.01	-2.81	-6.13	Decre- cimiento	D
Presidente Benito Juárez	Tabasco	Cárdenas	13.77	-16.54	-2.17	-4.94	Decre- cimiento	D
El Carmen	Veracruz	Ixtaczoquitlan	12.66	-15.40	-1.86	-4.61	Decre- cimiento	D
Santa Rosalía	Tabasco	Cárdenas	3.59	-6.90	-0.24	-3.55	Decre- cimiento	D
San José de Abajo	Veracruz	Cuitláhuac	9.88	-11.51	-1.11	-2.74	Decre- cimiento	D
El Potrero	Veracruz	Atoyac	9.11	-10.31	-0.92	-2.12	Decre- cimiento	D
Lázaro Cárdenas	Michoacán	Taretan	-13.50	1.75	-0.21	-11.96	Decre- cimiento	E
Central Motzorongo	Veracruz	Tezonapa	-8.32	0.24	-0.02	-8.10	Decre- cimiento	E
Calipam	Puebla	Coxcatlán	-24.86	-35.09	5.65	-54.30	Decre- cimiento	F
Bellavista	Jalisco	Acatlán de Juárez	-31.13	-4.90	1.13	-34.90	Decre- cimiento	F
Azsuremex - Tenosique	Tabasco	Tenosique	-7.44	-25.25	1.43	-31.26	Decre- cimiento	F
Los Mochis	Sinaloa	Ahome	-19.54	-12.28	1.85	-29.97	Decre- cimiento	F
San Pedro	Veracruz	Lerdo de Tejada	-4.65	-18.01	0.69	-21.98	Decre- cimiento	F

Tabla 73. Tipología de ingenios construida a partir del crecimiento de la producción de caña de azúcar (Crec) como resultado de la superficie sembrada (Sup), rendimiento en campo (Rend) y la interacción entre ambos (Int) (continuación).

Ingenio	Entidad	Municipio	Sup	Rend	Int	Crec	Factor	Clasificación
Plan de Ayala	San Luis Potosí	Ciudad Valles	-8.98	-7.05	0.55	-15.48	Decre- cimiento	F
Pablo Machado (La Margarita)	Oaxaca	Acatlán de Pérez Figuero	-2.41	-13.18	0.28	-15.31	Decre- cimiento	F
El Modelo	Veracruz	La Antigua	-4.50	-9.64	0.38	-13.76	Decre- cimiento	F
San Miguelito	Veracruz	Córdoba	-4.71	-7.67	0.32	-12.06	Decre- cimiento	F
Pedernales	Michoacán	Tacámbaro	-7.58	-1.69	0.12	-9.15	Decre- cimiento	F

Fuente: elaboración propia.

En general, el incremento de los rendimientos en campo se explica por la incorporación del riego o por la tecnificación del mismo; la caída resulta por la dificultad de regar debido a los altos costos, disponibilidad de agua, o por falta de inversión en campo. Los ingenios que incrementan la superficie cultivada, se debe a los altos precios de la caña frente a otras opciones, como la ganadería o el maíz; mientras que los que la reducen, lo hacen por pérdida de competitividad de la caña frente a otros cultivos más intensivos como hortalizas o frutillas.

De los 20 ingenios que presentan un decrecimiento en su producción, el 50 % se encuentra en una situación crítica, al bajar tanto superficie cultivada como rendimientos en campo; y corresponden al tipo F. Las causas principales de ese mal desempeño se resumen en cuatro aspectos: 1) los productores prefieren vender la caña a ingenios aledaños que les ofrecen mejores servicios y tiempos de pago; 2) factores climáticos como inundaciones o sequías prolongadas; 3) competencia con otros cultivos por el uso de la tierra, y 4) problemas organizacionales entre productores. En general estas causas son difíciles de revertir, por lo que el futuro de estos ingenios está bastante comprometido.

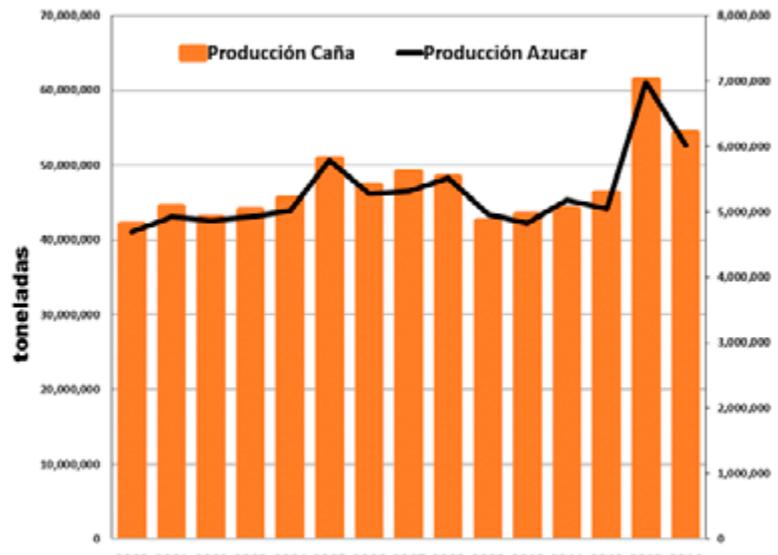
Se ha manifestado un incremento gradual en la producción de caña de azúcar a nivel nacional y su consecuente relación con la generación de azúcar, que parece disfrazar los problemas de un sistema extensivo del campo cañero mexicano, basado en los altos precios del azúcar en el mercado internacional. El problema entonces radica en el hecho de qué pasará si la volatilidad de los precios margina la rentabilidad de la agroindustria y se contraen las áreas de producción, se estaría entonces comprometiendo el abasto de azúcar nacional. Para enfrentar esta situación, autores como González y Oquendo (2002), Gálvez (2000), Rivera (2012) y Aguilar (2012) proponen la diversificación de usos de caña de azúcar.

### 5.3 Productos obtenidos a partir de caña de azúcar: azúcar y etanol

#### 5.3.1 Azúcar

En México, tradicionalmente la caña de azúcar se utiliza principalmente como materia prima para la extracción de azúcar. De 2000 a 2014 esta producción ha mostrado un incremento gradual anual de 76,654 toneladas de azúcar en promedio, pasando de 4,696,035, a 6,021,292 toneladas, con récord histórico en 2013, de 6,974,799 toneladas, en gran medida como respuesta al incremento de la producción de caña de azúcar, que obedece a un sistema extensivo (Figura 109).

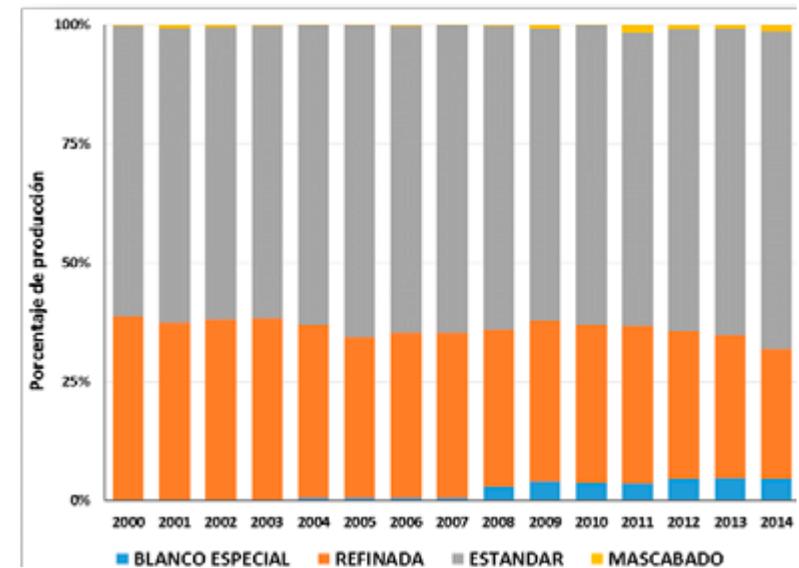
Figura 109. Comportamiento de la producción de azúcar y su relación con la producción de caña de azúcar, 2000 a 2014.



Fuente: elaboración propia.

Los principales tipos de azúcar producidos en el país son blanco especial (2 %), refinada (34 %), crudo (63 %) y mascabado (1 %) (Figura 110), empleados principalmente por la industria de refrescos embotellados (55 %), panificadora y galletas (12 %), dulces y chocolates (9 %), el restante 24 % se distribuye entre la fabricación de lácteos, bebidas alcohólicas y alimentos procesados, entre otros. Sin embargo, a pesar de que la producción de azúcar se ha incrementado, el consumo per cápita de azúcar se ha contraído, pasando de valores cercanos a 48 kg, a poco más 35 kg, aun así el consumo de azúcar en los hogares (directo) se mantiene alrededor de 21 kg por persona. (García *et al.*, 2012).

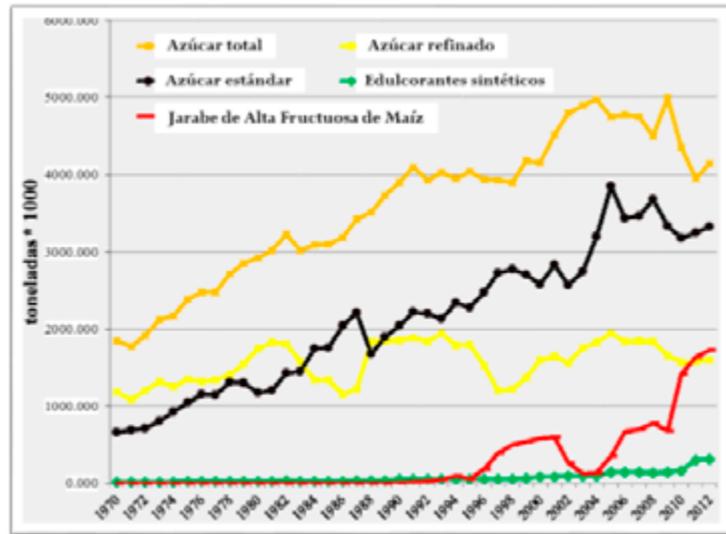
Figura 110. Tipos de azúcar producidos en México, 2000 a 2014.



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el consumo industrial de azúcar se había incrementado hasta un máximo de 26 kg per cápita antes de la entrada al mercado del jarabe de maíz de alta fructosa, para 2014 se ubica en 10 kg. El consumo de JMAF ha crecido de manera exponencial; en 2012 representó 33 % del mercado de edulcorantes calóricos. Estas contracciones en el consumo de azúcar explican el porqué el mercado de los edulcorantes en México está cambiando (Figura 111), la estructura actual del consumo de azúcar y otros edulcorantes como los jarabes de maíz de alta fructosa y los edulcorantes bajos en calorías o sintéticos es diferente a la que había hace dos décadas, cuando el azúcar prácticamente no tenía competencia. Ahora los jarabes de maíz y los edulcorantes de alta intensidad, están desplazando azúcar en un segmento importante de mercado.

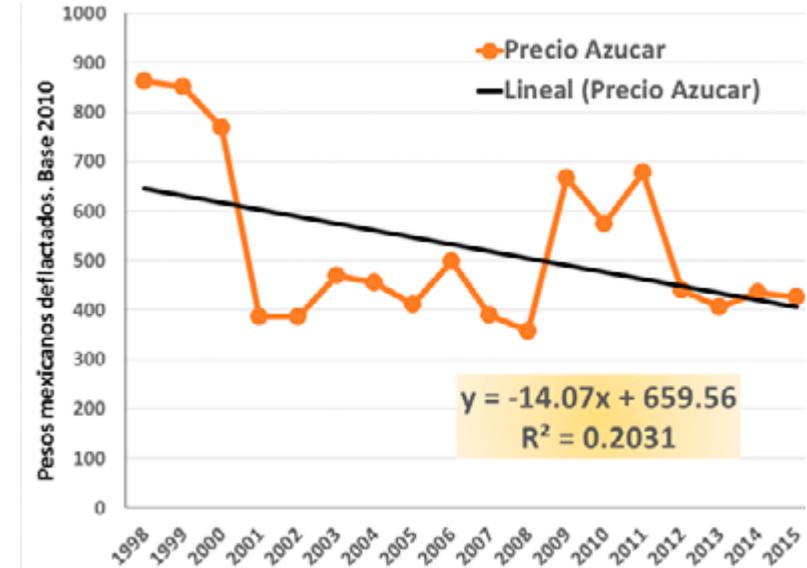
Figura 111. Consumo de azúcar en México y otros edulcorantes de 1970 a 2012.



Fuente: elaboración propia.

Aunado a este panorama se suma una aparente contracción de los precios del azúcar, como respuesta a una sobreproducción. La serie de 1998 a 2015 de los precios promedio de un bulto de azúcar de 50 kg a lo largo del año, muestra una tendencia lineal en descenso. Este hecho ha sido documentado por Aguilar (2010), quien resalta que en los últimos años los productores de azúcar nacional han resentido la huella de numerosos factores que amenazan su competitividad como actividad económica, como por ejemplo: la caída de la productividad (campo y fábrica), de los precios internacionales del azúcar, la disminución del consumo interno por la sustitución de sacarosa por jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF) y edulcorantes no calóricos y la inestabilidad de los precios del petróleo, entre muchos otros (Figura 112).

Figura 112. Comportamiento de los precios promedio de un bulto de azúcar de 50 kg. Deflactados a precios reales base 2010.



Fuente: elaboración propia.

Bajo este contexto, la diversificación de usos se presenta como una oportunidad para los cañeros de lograr un valor agregado que pueda otorgar un aumento en el precio de la caña de azúcar. A pesar de que existe una lista con cerca de 250 productos diversificados de la caña, documentados ampliamente en diversas bases de datos científicas, sólo cinco se aprovechan en México: azúcar, bagazo para cogeneración de energía en los ingenios azucareros de forma marginal, bagazo para papel, melazas y alcohol (Aguilar, 2012).

### 5.3.2 Etanol

La fermentación de la caña de azúcar produce inicialmente alcohol con una significativa cantidad de agua, la cual se elimina mediante la destilación en forma de agua residual, dejando una concentración de etanol al 96 % de pureza. A este producto se le conoce como etanol anhidro, comúnmente empleado como biocombustible de vehículos especialmente modificados para usarlo sin necesidad de desnaturalizarlo. El etanol se utiliza actualmente en varios países para oxigenar la gasolina, con el objetivo de aumentar el octanaje, reducir las emisiones y mejorar el medio ambiente (Cárdenas, 2010).

La manera más simple de producir etanol es mediante la fermentación de biomasa con contenido de azúcar directamente convertible en etanol, comúnmente denominado de primera generación. En Brasil y otros países tropicales que actualmente producen etanol, la materia prima más ampliamente usada con ese fin es la caña de azúcar. En Estados Unidos de América y países europeos la mayor parte del etanol se produce a partir de féculas de almidón provenientes de maíz, en el primero, y de trigo y remolacha azucarera, en los segundos. Masera *et al.* (2011) demostró que el etanol obtenido de azúcares puede tener alta mitigación de efectos GEI (Gases Efecto Invernadero), en cambio, el etanol de almidones tiene mitigación baja y hasta negativa en algunos casos, por lo cual su uso puede generar más emisiones que las de la gasolina que sustituye.

En México, la producción de etanol es incipiente, no obstante se produce para uso en bebidas alcohólicas, productos farmacéuticos y alimenticios, y como solvente y reactivo industriales. El etanol producido proviene del jugo de la caña de azúcar y se obtiene en algunos ingenios azucareros, a través de la fermentación del jugo y la destilación, a este proceso de obtener alcohol de un subproducto derivado del proceso de extracción de azúcar se le conoce como etanol de segunda generación (Álvarez, 2009).

De acuerdo a Chauvet y González (2008), en la extracción de etanol de primera generación se utilizan procesamientos más simples y de menores inversiones, mientras que en los de segunda generación el procesamiento es más complejo y requiere un costo mayor, pero no se pone en riesgo la seguridad alimentaria al ser un producto derivado de un residuo, y no de la materia prima.

En América, además de Brasil y Estados Unidos, que son los dos mayores productores de biocombustibles en el continente americano y en el mundo, producen etanol como biocombustible Canadá, Colombia, El Salvador, Costa Rica, Perú, Argentina y Paraguay. Otros países como Guatemala, Cuba, Ecuador, México y Nicaragua también producen etanol, pero no tiene un uso final como biocombustible.

La historia del etanol y de todos los biocombustibles ha estado ligada más a los precios internacionales del petróleo que a su propio progreso tecnológico, apareciendo cuando éstos se encarecen y bajando su demanda cuando el petróleo disminuye su precio. Ante ello, México inició en agosto de 2005 con la promulgación de la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, los lineamientos para el aprovechamiento de la caña de azúcar como energético, reforzando esta iniciativa en 2007 con la promulgación de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticas (LPDB) y otros esquemas normativos tendientes a fomentar la seguridad energética nacional; es importante señalar que esta ley no considera la obligatoriedad de mezclas de biocombustibles, a la fecha, ni plantea su previsión para los años próximos.

En la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar se contempla la creación del Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Caña de Azúcar

(CICTCAÑA), para elaborar estudios y proyectos de desarrollo y aprovechamiento del etanol como carburante y oxigenante de gasolina a partir de mieles, así como del aprovechamiento del bagazo de caña con fines de industrialización para la cogeneración de energía y la obtención de gas sintético. En la práctica, no se han logrado todavía avances sustantivos en la producción ni comercialización de los insumos.

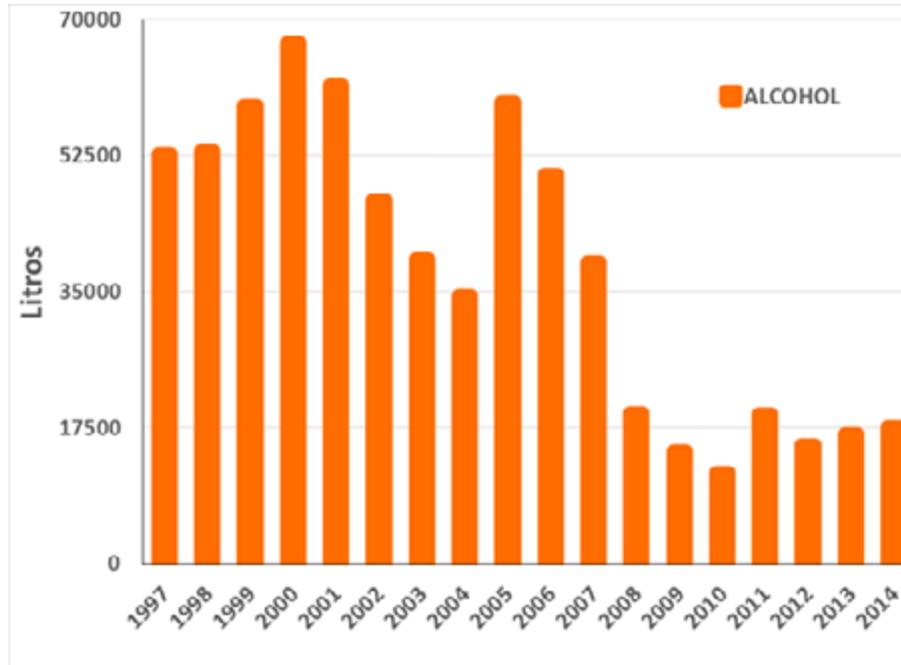
La incipiente producción de etanol a partir de caña de azúcar representa una desventaja ante países como Brasil, que lleva más de treinta años aplicando una política de bioenergía tendiente a lograr la seguridad energética, emprendiendo para ello el fomento de investigación, tecnología y operación (SAGARPA, 2010). Su programa PROALCOOL, iniciado en 1975 por el gobierno a raíz de la crisis del petróleo de la década de 1970, tenía la finalidad de reducir la dependencia del país respecto a las importaciones de petróleo.

Brasil es el principal productor de etanol a partir de la caña de azúcar, a través de un programa que ha funcionado por más de dos décadas; ha sido fundamental en su éxito la garantía de compra de etanol por parte de la paraestatal PETROBRAS, además de que los productores de caña de azúcar buscan otras salidas mejor remuneradas que la exportación de azúcar, cuya cotización internacional es baja en la actualidad (FAO, 2011). Ellos consumen anualmente entre 16 y 17 mil millones de litros de etanol carburante por año, utilizando dos modalidades diferentes: mezclado con las gasolinas, en proporciones que oscilan entre 20 % y 25 %; y etanol puro (100 %), para vehículos que han sido especialmente diseñados para ello (ACR, 2010). Estados Unidos lo produce a partir de maíz, utiliza anualmente alrededor de 7.5 millones de litros de etanol carburante en mezclas con gasolina. El 12 % del consumo de combustible en ese país contiene etanol carburante. La mayor parte contiene una mezcla de 10 % de etanol y en ciertas regiones ya se utiliza gasolina con 85 % de etanol.

Además de estas iniciativas se ha impulsado, bajo los lineamientos de la LPDB, la creación de plantas productoras de etanol a partir de algas verdes como la ubicada en Puerto Libertad, Sonora, de biodiésel mediante el empleo de insumos como la palma africana, el frijol de soya y la semilla de *Jatropha curcas* (piñón), y de electricidad, a partir de biogás proveniente de excremento de animales. Asimismo, la Secretaría de Energía (SENER) identificó en 2012, trece proyectos de investigación para la producción de etanol de segunda generación, a partir de residuos de caña de azúcar, agave y algas, principalmente en el estado de Jalisco. Sin embargo, en la práctica, a la fecha no se han logrado avances sustantivos en la producción ni comercialización de etanol, biodiésel y biogás.

En México, la producción de alcohol a partir de melazas de caña de azúcar es, en su mayoría, una práctica bastante conocida y utilizada principalmente para producir bebidas. Para esa finalidad, diversos ingenios mexicanos poseen destilerías, aunque no operan de forma regular durante cada zafra (SAGARPA, 2010), lo que provoca que la producción nacional muestre una tendencia decreciente (Figura 113).

Figura 113. Producción histórica de alcohol en México.



Fuente: SIAZÚCAR.

De acuerdo con la SEDER (2012), de los ingenios azucareros que existen en México, sólo 18 cuentan con una destilería para la producción de etanol, y solamente producían alcohol ocho (La Concepción, San José de Abajo; San Nicolás; Constanica; Pujilic; Tamazula; Calipan y San Pedro), sin embargo, esta información contrasta con SIAZÚCAR (2014), que reporta que, de 2011 a 2014, sólo cuatro ingenios producen alcohol (San Nicolás, Aarón Sáenz Garza, Pujilic y Tamazula); coincide en que la producción se destina a satisfacer la demanda de bebidas alcohólicas y de la industria química, y que existe una disminución gradual en la producción. En la Tabla 74 se muestra el comportamiento histórico de la producción de alcohol por ingenio, con un claro decrecimiento.

Tabla 74. Se muestra el comportamiento histórico de la producción de alcohol por ingenio, con un claro decrecimiento.

Ingenio	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
La Joya	973	1037	1090	760	868	1596	1307	1436	908	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pujilic (Cía. La Fe)	3387	4257	3862	3411	3688	4484	3373	3073	6459	8869	8840	9006	9492	7856	7665	8725	8230	8629	-
Tamazula	5635	5689	6631	6195	5578	5420	5644	5747	5437	3132	1759	3409	2916	2173	3285	2577	4481	4580	-
San Sebastián	81	-	118	211	371	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emiliano Zapata	3440	2677	4410	3266	1909	1825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atencingo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	562	426	-	-	-	-	-	-	-	-
Calipam	193	757	481	1041	910	1038	1001	940	302	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Los Mochis	-	-	1928	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dos Patrias	654	-	-	-	758	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aarón Sáenz Garza	4572	6093	4930	4363	4499	4805	4948	4487	9840	-	-	-	1022	1608	3196	2584	2480	1387	-
El Mante	8847	4703	4582	6033	1267	8635	5082	4537	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Constancia	1575	5014	6643	7269	4997	4686	4997	4055	3015	2479	1709	2366	1074	190	-	-	-	281	-
Cuatotolapam	1814	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El Carmen	1833	1820	1916	2008	2596	2689	2923	3152	3139	3465	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El Potrero	2097	2504	1089	2811	911	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Independencia	3131	2145	2051	8959	9612	6755	1251	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Gloria	-	-	-	-	-	-	-	-	20169	21261	19751	-	-	-	-	-	-	-	-
La Providencia	1952	2153	2916	2118	1325	1752	1818	669	1172	1564	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Cristóbal	7931	7705	7709	5270	10810	2578	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Gabriel	273	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San José De Abajo	-	-	-	2183	1552	-	1118	-	-	-	2027	-	-	-	-	-	-	-	-
San Nicolás	6206	6570	5889	5975	6321	3852	2575	5418	6810	6902	4159	4646	-	-	5196	1424	1214	3012	-
San Pedro	2759	-	2682	5180	3655	1351	3206	1045	2076	1777	196	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

En años recientes, se instalaron en dos destilerías de ingenios azucareros, La Gloria y San Nicolás, columnas deshidratadoras para la obtención de etanol para uso como carburante asociado a las gasolinas convencionales. Dichas instalaciones no cumplieron el objetivo para el cual fueron establecidas, por lo que la tecnología de producción de alcohol en nuestro país, pudiera considerarse como tradicional, con grandes atrasos tecnológicos y sin recuperación ni de levadura, ni de CO<sub>2</sub>.

La capacidad instalada actualmente en las destilerías mexicanas, es de unos 346,000 litros por día, con rendimientos entre los 230 y 250 litros por tonelada de melaza procesada. Por lo que respecta a las dos destilerías con posibilidad de producir etanol anhidro, la capacidad instalada asciende a 115,000 litros por día (ingenios La Gloria y San Nicolás). En general, los efluentes derivados del proceso de producción de azúcar (mieles finales) tienen como destino principal la fertilización de los campos cañeros y no la generación de etanol por lo que, en términos generales, la producción de este biocombustible en México es prácticamente nula.

No obstante, en este contexto nacional, el panorama no es tan desalentador si se considera que el apoyo normativo a la producción y al uso de etanol y biodiésel, y el rápido aumento de los precios del petróleo, están haciendo que los biocombustibles sean los sustitutos más atractivos para los combustibles derivados del petróleo. La creciente demanda en el sector transporte y las nuevas políticas de consumo de energía que procuran un bienestar en el medio ambiente, provocan que la generación de etanol proveniente de la caña de azúcar represente una de las actividades que tendrá mayor demanda a mediano plazo, junto con el biodiésel de residuos de grasa animal y aceite vegetal, siempre cuidando el no comprometer la seguridad alimentaria.

Masera *et al.* (2011) postula que en México existe un gran potencial de recursos biomásicos para producir biocombustibles líquidos, biocombustibles sólidos y biogás; al respecto, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) estima que en nuestro país existen hasta 18 mil hectáreas con condiciones para cultivos agrícolas que podrían aprovecharse para convertirse en biocombustibles (Tabla 75). El desarrollo de esta actividad agrícola depende, principalmente, de la disponibilidad de la tecnología necesaria para hacer competitiva su producción (SEDER 2012).

Tabla 75. Potencial productivo de cultivos aptos para la producción de biocombustibles (Miles de hectáreas).

Cultivo	Bioenergético	Potencial medio	Potencial alto	Localización
Caña de azúcar	Etanol	460	4,313	22 estados de la república
Higuerilla	Biodiésel	3,960	6,345	30 estados de la república
Jathrofa	Biodiésel	2,620	3,468	28 estados de la república
Palma de aceite	Biodiésel	242	293	Chiapas, Campeche, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz.
Remolacha azucarera	Etanol	1,725	2,008	32 estados de la república
Sorgo dulce	Etanol	2,072	2,200	22 estados de la república

Fuente: elaboración propia.

El mercado nacional está representado por las necesidades de PEMEX que, conforme a la LPDB, establece que se deberá agregar un 10 % de bioetanol a la mezcla de la gasolina; sin embargo, esto aún no es obligatorio y sólo se ha intentado en algunas zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y el Valle de México. PEMEX representa el principal mercado potencial para el desarrollo de una industria nacional de etanol anhidro (SEDER 2012). De manera adicional, existe una amplia demanda internacional para el bioetanol, siendo el mercado más cercano y atractivo para México el de Estados Unidos. Los precios internacionales del bioetanol están íntimamente relacionados con el comportamiento de los precios del maíz, sorgo, caña de azúcar y otras materias primas, por lo que generalmente el precio fluctúa dependiendo de la disponibilidad del insumo, no obstante existen otros factores que afectan indirectamente los precios de dicho biocombustible como lo pueden ser el precio internacional del petróleo, gasolinas, gas natural, y otros combustibles fósiles (FAO, 2011).

Las prospectivas para los próximos 20 años, de acuerdo con el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), indican que el mercado de los combustibles estará caracterizado por una amplia variedad de los mismos, fósiles y renovables. La introducción de combustibles renovables deberá hacerse de forma paulatina; para que sea posible utilizar los motores con que se cuenta en la actualidad, son necesarias la atención y coordinación de los Gobiernos federal y estatal para favorecer el desarrollo y promoción de bioenergéticos, que permita dejar atrás la dependencia nacional de combustibles de origen fósil. Por otra parte, la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar establece la implementación de acciones que fomenten el desarrollo del campo mexicano mediante la promoción, fomento y desarrollo de bioenergéticos provenientes de la biomasa, así como la organización de cadenas productivas relacionadas con los biocombustibles (SAGARPA, 2010).

Estas políticas tienen como propósito orientar la producción, investigación y crecimiento en el uso de los biocombustibles; asegurar la coordinación interinstitucional que oriente los esfuerzos relacionados a este tipo de combustibles a establecer gravámenes adecuados a su explotación. De esta forma, el panorama en la producción de etanol a partir de caña de azúcar tiene enormes posibilidades derivadas del desarrollo de políticas públicas adecuadas y que tiendan a dar sostenibilidad a la actividad (SAGARPA, 2010).

Para su desarrollo es necesario considerar un marco regulatorio en el corto plazo; resulta imprescindible contar con un marco jurídico y legal apropiado que fomente el uso sustentable de la bioenergía en gran escala en nuestro país. Dicho marco debe incluir todo un conjunto de incentivos fiscales y de otro tipo a los bioenergéticos así como facilidades y seguridad para realizar inversiones a largo plazo en este campo, esquemas para la participación de pequeños productores, normas para la certificación desde el punto de vista de la sustentabilidad de los bioenergéticos, y otras acciones. Además de fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico, se debe incentivar el desarrollo, adaptación y aplicación de tecnología apropiada. En este sentido, el apoyo a grupos de investigación y al desarrollo de proyectos piloto y demostrativos son acciones prioritarias, asimismo, el fomento de redes y proyectos de colaboración internacionales.

#### 5.4 Factores de éxito en países que producen etanol a partir de caña de azúcar

Los países más exitosos en el marco de producción y consumo de etanol a partir de caña de azúcar son Brasil y Colombia; a últimas fechas, Guatemala ha destinado gran parte de la producción de caña de azúcar a este biocombustible, sobre todo para exportación, pero aún sin los casos de éxito de los primeros. En general, el éxito de los biocombustibles depende, entre otras cosas, de la obligación de usarlos, de las exenciones y subsidios del Estado, del sobreprecio a los consumidores, del precio de los combustibles fósiles, de los avances tecnológicos y del desarrollo en investigación.

##### 5.4.1 Etanol de caña de azúcar: el éxito de Brasil

Hace 30 años, cuando un litro de etanol valía tres veces más que un litro de gasolina, muy pocos países hubieran considerado invertir en él como combustible, pero Brasil tomó ese camino y ahora produce el etanol más barato del mundo. Las condiciones favorables de Brasil y su tradición de cultivar caña de azúcar fueron esenciales para desarrollar el sector. Sin embargo, fue la masiva inversión del gobierno en infraestructura e investigación hecha entre 1975 y 1989, a través del Programa Nacional de Alcohol (Pro-Álcool), la que permitió que el país se transformara en líder en el mercado del etanol. Entre los principales factores que han permitido este desarrollo se encuentran:

**a) Experiencia pionera.** Roberto Schaeffer, profesor investigador de la Universidad Federal de Río de Janeiro, es claro en afirmar que gran parte del desarrollo de la industria del etanol en el país se debe a la decisión del gobierno en destinar la caña de azúcar a la producción de etanol, y reglamentar el agregado de este compuesto a la gasolina como obligatorio, como medida para reducir los excedentes en la producción de azúcar; “el gobierno fue criticado en aquel momento, pero el hecho es que fue un éxito”.

El gobierno brasileño invirtió para aumentar la producción agrícola, modernizar y expandir las destilerías, y establecer nuevas plantas de producción. También introdujo subsidios para bajar los precios y redujo los impuestos para los productores de etanol.

**b) La ciencia detrás del logro.** Detrás del éxito del Programa Nacional de Alcohol (Pro-Álcool) había importantes avances científicos y tecnológicos en la agricultura y la industria, como “La producción de 40 toneladas de caña de azúcar por hectárea fue más que duplicada”, dice Schaeffer. “Fue una experiencia única, en la cual el gobierno y el sector privado en conjunto invirtieron en investigación y mejora de un producto en particular”.

El Instituto Agronómico de Campinas, el cual ha trabajado en el mejoramiento de la caña de azúcar desde 1933, y la Escuela de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidad de São Paulo produjeron desarrollos clave en la investigación agrícola. Usando técnicas tradicionales de cultivo, los investigadores produjeron variedades adaptadas a diferentes condiciones del suelo y clima, con ciclos de producción más cortos, mejores rendimientos y tolerancia a la escasez de agua y plagas y enfermedades.

Oscar Braunbeck, profesor de ingeniería agrícola en la Universidad Estatal de Campinas, sostiene: “Si no hubiera habido variedades de caña de azúcar genéticamente mejoradas, hubiera sido un gran problema para el sector”. En producción, se desarrollaron nuevos sistemas de molienda, y el proceso de fermentación se adaptó al uso de diferentes microorganismos y enzimas para producir mayor cantidad de etanol más rápidamente, y se invirtió en la investigación para darle usos adecuados a los desechos industriales, como la vinaza en la fertilización de suelos y el bagazo, para generar electricidad.

**c) Nuevas tecnologías, nueva demanda.** Brasil es el segundo productor de etanol del mundo, después de Estados Unidos que lo produce a partir de féculas de maíz. El 80 % del etanol que produce es consumido en el mismo país por el sector transporte, gracias a mejoras en los motores automotrices que les permite funcionar con gasolina, etanol o una mezcla de ambos. De acuerdo con Alfred Szwarc, consultor de la Unión de Industria de Caña de Azúcar, “los autos con uso flexible de combustible aumentan el consumo y observamos un crecimiento en este mercado”; afirma que “durante los últimos 30 años, lo que hicimos fue transformarnos en profesionales en el uso de tecnología de etanol convencional, desde ahora en adelante, necesitamos desarrollar nuevas tecnologías para mantener nuestro liderazgo en el sector”.

El éxito del uso flexible de combustible y la necesidad de reducir las emisiones de carbono ha inspirado la búsqueda de nuevas aplicaciones para el etanol. Investigadores del Centro de Tecnología Delphi de São Paulo desarrollaron un sistema de combustible para motos y autobuses que también puede usar mezclas de etanol y gasolina en cualquier proporción.

**d) Nuevos desafíos.** Con la demanda internacional por fuentes de energía renovables en aumento, Brasil tiene muchos desafíos que enfrentar si quiere continuar a la cabeza del mercado del etanol. Uno es aumentar su ya significativa producción sin daño ambiental ni social. Producir etanol de bagazo de caña de azúcar y paja será un paso en esa dirección (etanol de segunda generación). Pero existen dudas sobre la viabilidad económica del proceso, que requiere mayores cantidades de agua y genera más subproductos contaminantes.

Brasil también espera expandir su mercado de etanol, “para un país caribeño o africano, es mejor importar tecnología de Brasil y aprender a producir sus propios bienes que continuar importando petróleo de Medio Oriente”, afirma Alfred Szwarc; existe una clara esperanza de estabilizar un comercio de etanol con esos países, “pero aún si eso no sucede, al menos estamos creando las condiciones apropiadas para consolidar un mercado estable para el etanol, y expandirlo en el futuro”.

#### 5.4.2 Etanol de caña de azúcar: Colombia

El éxito de la producción de etanol en Colombia radica, según opinión de expertos, en el programa de “gasolina oxigenada” con 8 % de etanol que se hizo obligatorio a partir de noviembre de 2005 en el Suroccidente y en la zona cafetera, y en febrero de 2006 en Bogotá, como resultado de la Ley 693 del 19 de septiembre de 2001, que promulga el uso de una mezcla 8 % etanol y 92 % gasolina en vehículos que circulen en ciudades con más de 500 mil habitantes. Además, para complementar esta ley, la Ley 788 de 2002 exoneró al etanol del impuesto al valor agregado IVA y de los impuestos y sobretasas a los combustibles

En opinión de expertos, estos subsidios del gobierno han hecho que el mercado del etanol en Colombia prospere; sin embargo, el comercio internacional del etanol depende, como el de cualquier producto, de la diferencia entre los precios internacionales y los costos de producción. Actualmente, la producción de etanol tiene costos de producción superiores a los de la gasolina, pero como el precio internacional es muy alto pueden comercializarse por ahora, no obstante hay que tener en cuenta que los precios internacionales nunca en la historia se han mantenido arriba por muchos años.

Los costos de producción del etanol en Colombia son superiores a los de Brasil, lo cual resultará catastrófico a la hora de una baja de los precios internacionales, y la crisis para las destilerías solamente podría compensarse con mayores precios

internos o incrementando los subsidios, por lo que Colombia en la actualidad invierte en infraestructura e investigación para hacer más eficiente la extracción de etanol de primera y segunda generación, para reducir sus costos de producción en los principales ingenios del país Cauca, Providencia y Risaralda del grupo Ardila Lülle, con una producción del 65 % nacional; Manuelita (20 %) y Mayagüez (15 %).

#### 5.4.3 Etanol de caña de azúcar: Guatemala

Un caso particular es el de Guatemala, donde existe una ley vigente pero inoperable que es el Decreto 17-85 “Ley del Alcohol Carburante” que no obliga a mezclar el etanol con la gasolina. De ahí que la mayor parte de su producción sea de exportación, sobre todo al mercado de Europa y Estados Unidos.

Según opinión de expertos, para que el mercado del etanol progrese en Guatemala, es muy importante que el uso de este oxigenante sea legislado, reglamentado y monitoreado para que los consumidores reciban el producto con las especificaciones correctas. Es importante que países como Guatemala empiecen a producir y utilizar combustibles renovables, como parte de una Política Energética con una visión a largo plazo, y así lograr obtener todos los beneficios del uso de combustibles renovables y enfocarse hacia el desarrollo sostenible.

#### 5.4.4 Etanol de caña de azúcar: retos para México

En México, el etanol se obtiene de la melaza (residuo del proceso de la producción de azúcar) y no del jugo de la caña como en Brasil, mediante un simple proceso de fermentación que abarata drásticamente el costo de su producción. Ciertamente es que para cambiar nuestra tecnología es necesario reconvertir los ingenios azucareros en factorías de triple propósito: producción de azúcar y de etanol, y generación de electricidad. En Brasil, un porcentaje creciente del consumo nacional de electricidad es ya producido por los ingenios.

Lo anterior implica que se debe hacer obligatorio el uso de mezclas de etanol con gasolina de acuerdo con la Ley de Bioenergéticos vigente, además de fortalecer el campo y agroindustria cañera mediante investigación que incremente la productividad por hectárea, al mismo tiempo que los ingenios se reconviertan y transformen.

Para ello, de acuerdo con expertos de los diferentes centros de investigación del país en la materia, se requiere, en primer lugar, que Petróleos Mexicanos incorpore en su programa de almacenamiento, distribución y venta, al etanol como un combustible que, junto con la gasolina en las proporciones que se consideren adecuadas, pueda ser utilizado por los vehículos de motores de combustión interna. En segundo lugar, que los industriales propietarios de los actuales ingenios azucareros estén dispuestos a incorporarse a un programa de reconversión industrial que los transforme

en biorrefinerías que puedan producir azúcar y etanol y generen energía eléctrica al mismo tiempo, para lo que será necesario un convenio con la Comisión Federal de Electricidad.

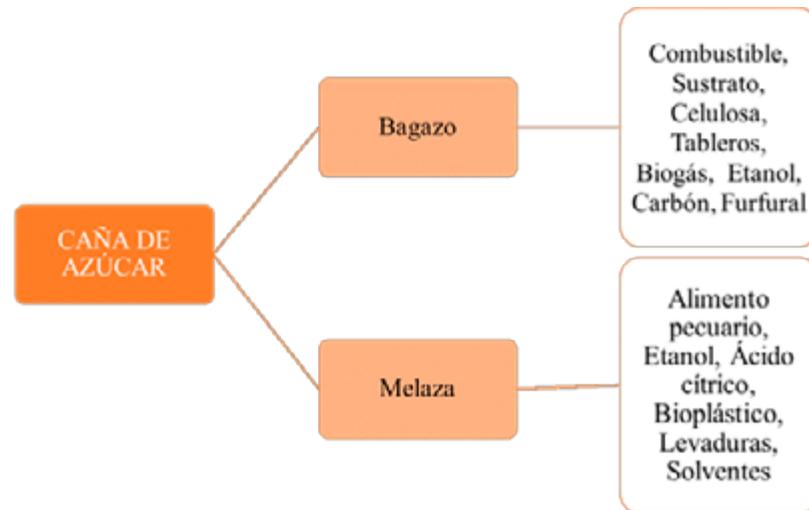
## 5.5 Subproductos obtenidos a partir de caña de azúcar

### 5.5.1 Melazas y bagazo

Entre los subproductos generados en el proceso de producción de azúcar o etanol de primera generación se encuentran la melaza y el bagazo, que representan más del 25 % del total de subproductos de la caña; están constituidos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Aguilar, 2012) y presentan un amplio potencial de aprovechamiento, entre las posibilidades se encuentran la producción de alimentos, forrajes, energía y nuevas materias primas para otras industrias (Figura 114).

El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso de la caña, que se obtiene después de extraerle el jugo (Aguilar, 2010). La melaza proviene de la cristalización del jugo concentrado (Galindo, 2003), que está compuesta principalmente por agua y los carbohidratos (Vega-Baudrit *et al.*, 2007).

Figura 114. Potencial de aprovechamiento de bagazo y melaza obtenidos como residuos en el proceso de producción de azúcar.



Fuente: elaboración propia.

El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso de la caña, que se obtiene después de extraerle el jugo (Aguilar, 2010). La melaza proviene de la cristalización del jugo concentrado (Galindo, 2003) que está compuesta principalmente por agua y los carbohidratos (Vega-Baudrit *et al.*, 2007).

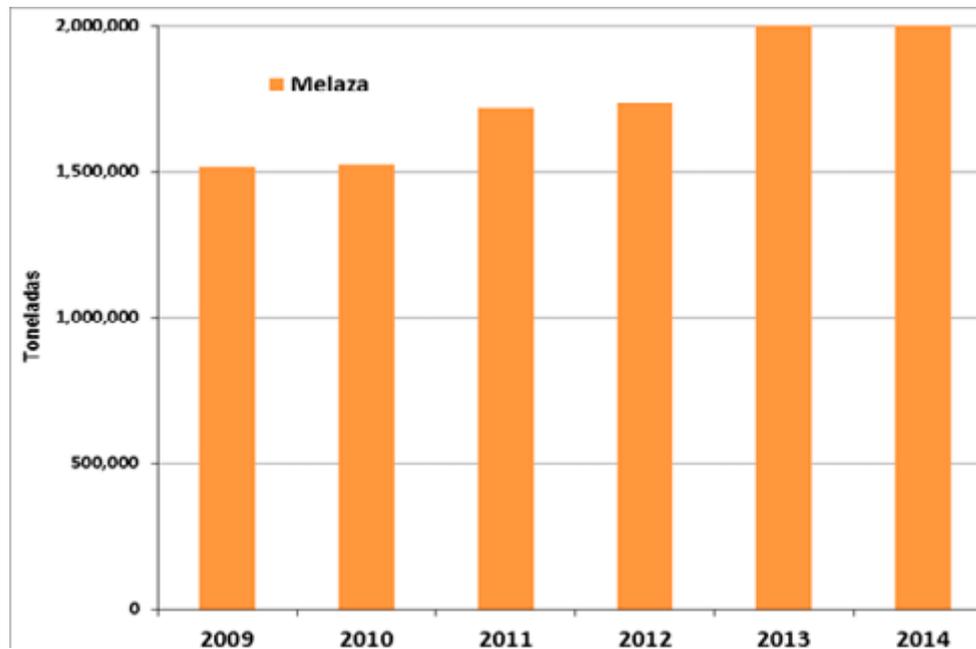
### 5.5.1.1 Melazas

La melaza es un subproducto de la refinación del azúcar, cuyas particularidades para la alimentación de rumiantes lo transforma en una fuente energética por excelencia, de elevada digestibilidad, que dados los precios actuales y su uso alternativo en la industria alcoholera, se restringe su utilización en la ganadería, aunque es opcional en caso de que continúen los altos precios de los granos de cereal (Palma-García, 2015).

Por su alta cantidad de azúcares, la melaza constituye en nuestro país una fuente de energía directa para los animales; es el principal subproducto utilizado en la alimentación animal, existe amplia disponibilidad y su uso se ha venido incrementado notablemente, sobre todo en las áreas no muy distantes de los ingenios donde el flete sea costeable; no obstante, tradicionalmente la melaza es exportada en su mayor parte (63 %), y sólo se dedica a la alimentación animal el 16.5 %. La melaza se ha venido utilizando, sobre todo como complemento en la alimentación del ganado en la estación seca, cuando el pasto escasea y, en menor escala, en sistemas intensivos, basados en melaza.

Además del empleo en la alimentación animal, por sus bondades en el aumento de la densidad de nutrientes y la palatabilidad, una parte de la melaza que no es exportada se emplea en la elaboración de alcohol, para la producción de lácteos y numerosos productos biotecnológicos, aunque estas tecnologías aún son incipientes en nuestro país, de ahí que de 2009 a la fecha se note un incremento gradual de la producción en los ingenios (Figura 115). Aunque en años recientes se ha empezado a utilizar en la elaboración de etanol de segunda generación, por cada litro de alcohol obtenido a partir de mosto de melaza, se generan alrededor de 10 a 13 litros de vinaza, lo que la hace una industria sumamente ineficiente e incipiente (Aguilar, 2012).

Figura 115. Producción de melaza nacional, 2009 a 2014.



Fuente SIAZUCAR

De la melaza se obtiene un sinnúmero de productos sucroquímicos, tales como ácidos orgánicos, glucosa, fructuosa y alcohol mediante su fermentación (Islas, 2007). En la producción agrícola, el agregar melaza a la composta de bagazo puede proporcionar una fuente de carbohidratos, logrando mejores acondicionamientos del suelo para fomentar la actividad microbiana y servir de medio para nutrientes esenciales y otros oligoelementos necesarios para el crecimiento de las plantas, la acidificación del bulbo de riego y ayuda a disminuir el estrés del cultivo (Aguilar, 2010).

También de la melaza se pueden obtener los poliuretanos (polímeros) de importancia económica por la gran variedad de usos en la industria, la ventaja de los poliuretanos elaborados con melaza de caña de azúcar es la de ser potencialmente biodegradables, es decir, se descomponen más rápido que los materiales obtenidos con reactivos derivados del petróleo (Vega-Baudrit, 2007).

### 5.5.1.2 Bagazo

El bagazo es un residuo de la caña de azúcar y como tal, en la industria azucarera regularmente se desecha; en México, los principales usos del bagazo son: forraje, coenergía, abono y producción de papel (Tabla 76).

Tabla 76. Principales usos del bagazo en México.

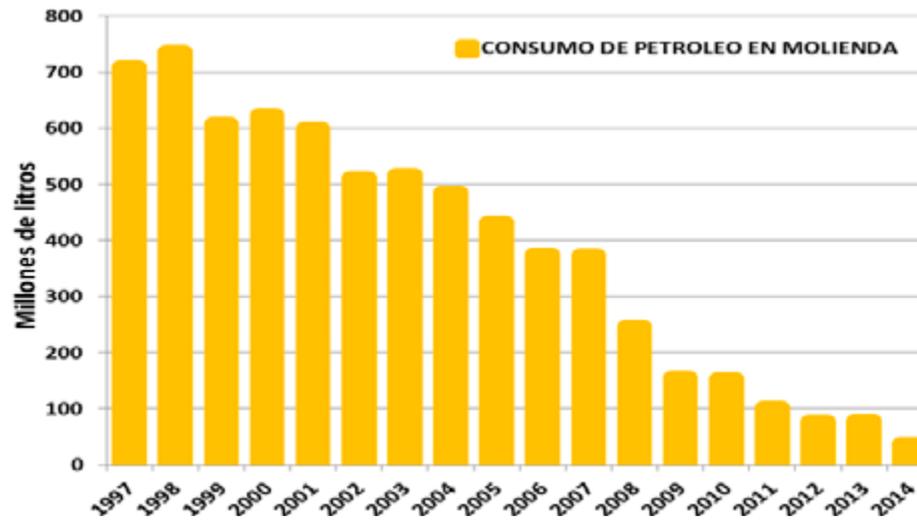
Usos del 100 % de bagazo	
Combustible	86.50 %
Fábricas de papel	10 %
Fábricas de tablas duras	0.80 %
Alimentos para ganado	0.20 %
Otros usos	2.50 %

Fuente: elaboración propia.

Una parte de la producción de este desecho de bagazo es reciclada como fuente de materia prima para la fabricación del papel (Aguilar, 2010), pero los tratamientos industriales de deslignificación y de blanqueo de la pasta de papel pueden resultar nefastos para el medio ambiente (Ortiz, 2008). En la zona centro del estado de Veracruz, algunos de los ingenios venden parte del bagazo a la fábrica de papel Kimberly Clark. Sin embargo, en general, del 50 al 100 % de los ingenios azucareros en el país lo utilizan para la producción de vapor mediante su combustión en las calderas, de ahí que sea un factor para que el consumo de petróleo empleado en el proceso de extracción de sacarosa, muestre un decrecimiento (Figura 116).

Los expertos son contundentes en afirmar en que más que pensar en producir etanol para dar salida a excedentes azucareros, se debe fortalecer la vía de cogeneración de energía eléctrica con base en biomasa (Figura 117). Afirman que el consumo específico de combustóleo en los 54 ingenios del país se ha ido reduciendo al lograr una mejor eficiencia energética para la elaboración de azúcar, por lo que hoy 21 de éstos tienen ya cero consumo de petróleo y otros seis consumirán exclusivamente bagazo de caña para su producción eléctrica, dentro y fuera de zafra.

Figura 116. Promedio del consumo de petróleo por zafra en México de 1997 a 2014.



Fuente: elaboración propia.

Figura 117. Cogeneración de energía en los ingenios azucareros del país a partir de bagazo de caña de azúcar.



El potencial de biomasa en el sector azucarero es considerable si se toma en cuenta que por cada 100 toneladas de caña procesada se obtienen de 10 a 12 toneladas de azúcar, de 25 a 30 toneladas de bagazo, quedan en el campo de 10 a 20 toneladas de residuos agrícolas, y de 5 a 7 toneladas se pueden recolectar como paja. Así lo expuso Carlos Morales en agosto de 2013, asesor en cogeneración de la Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera (CNIAA); añade que de los ingenios azucareros en operación, del país, 18 han mostrado interés en participar en la cogeneración de mayor

potencia, y se estima que su capacidad de generación de energía eléctrica sobrante durante temporada de zafra, sea de 344 MW (Megavatios) a la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Remarca que en una etapa posterior, con la incorporación de otros ingenios y realizando mejoras en materia de eficiencia energética, esta cifra podría alcanzar hasta los 500 MW en una primera etapa. El experto precisó que en el país seis ingenios, Constanica, San Nicolás, Tres Valles y La Gloria en Veracruz; Huixtla en Chiapas y Tala en Jalisco; ya están interconectados a la red, tres de ellos operan bajo el esquema de cogeneración con socios y los otros tres entregan su energía sobrante a CFE, después de satisfacer su carga local. Otros cuatro ingenios Aarón Saénz (Tamaulipas), San Miguel El Naranjo (San Luis Potosí), Santa Rosalía (Tabasco) y Tamazula (Jalisco), se adhirieron en 2014 al proceso de interconectarse a la red para entregar su energía sobrante a CFE (70 MW).

Un ingenio más, radicado en el estado de Nayarit (Puga), cuenta con un permiso de cogeneración con socios y su proyecto se orienta a participar en el sistema de subastas para obtener un contrato a largo plazo bajo el sistema de contraprestaciones (dado a conocer por la Comisión Reguladora de Energía, donde se mejora el precio en 42 % a quienes generen energía renovable). Esta agroindustria es la primera que presenta un proyecto nuevo, habilitado para operar después de zafra.

En los ingenios que están en este proceso de cogeneración de energía, cuando sus períodos de zafra son cortos o su porcentaje total de tiempo perdido es alto, su rentabilidad resulta afectada, pero todos podrían mejorar sus procesos de fabricación de azúcar e instalar sistemas de cogeneración de más presión y temperatura e incursionar así en la generación eficiente de electricidad durante y después de zafra, debido a que el excedente de vapor se traduce en ahorro de bagazo; lo anterior con base en el marco de la nueva ley en materia de energía que promueve el mejoramiento de la eficiencia energética en el desarrollo de proyectos de cogeneración en ingenios azucareros, fomenta el desarrollo de un nuevo mercado regional de biomasa residual de la cosecha de caña recolectada en zafra, para que junto con el bagazo sobrante, conforme un volumen suficiente de biomasa y así los ingenios tengan mayor viabilidad económica de producir energía fuera de zafra y su capacidad potencial y su eficiencia de cogeneración se incrementen sustancialmente.

Otros usos potenciales del bagazo lo constituye el hecho de considerarlo como un sustituto natural de la madera, por lo que se obtiene una gran variedad de productos de mayor valor agregado como los tableros aglomerados, papeles y cartones, celulosa y sus derivados, xilosa, furfural y otros productos, en ocasiones con mayores ventajas técnicas y económicas, por fijar su precio basado en el valor energético y el precio prevaliente del combustible necesario para sustitución en la fábrica de azúcar. En México, sólo del 11 % al 16 % de bagazo se emplea en la producción de madera prensada.

El furfural es producido a partir del bagazo de la caña de azúcar, la cual tiene aplicaciones en la producción de alcohol furfúrico, que se destina para la producción de resinas y como solvente en la preparación de nailon (Islas, 2007); etanol, alcohol

tetrahydro para la extracción del butadieno y en la fabricación de insecticidas amigables con el ambiente (Remolins, 2006); furfúrico, tetrahydro furano, éste se utiliza como relleno y extensor en madera laminada y otros derivados; solventes selectivos, grasas y lubricantes; resinas. El derivado 2-metilfurano se emplea como solvente orgánico, pesticida y productos farmacéuticos (Islas, 2007); también se obtienen plástico de moldeo y plástico como el acetato de celulosa. Se estima que el 20 % de la producción mundial proviene del bagazo (Ortiz, 2008).

Según Íñiguez-Covarrubias (2001) es factible producir carbón activado a partir de bagazo; parte del bagazo no usado como combustible de calderas durante el proceso de producción de azúcar puede ser desmedulado y vendido a las productoras de papel (Islas, 2007); el sobrante representa un problema de contaminación, por lo que entre las alternativas de reuso está la de convertirlo en carbón activado granulado, útil en la propia industria azucarera para la decoloración, y como edulcorante en la refinación de azúcar y en la industria alimentaria (Pedraza, 1996), y para el tratamiento de agua potable e industrial residual (Fajardo-Castillo y Constanza-Sarmiento, 2007).

Asimismo, se produce cartón corrugado mediante la pulpa de celulosa del bagazo, similar al que se obtiene como primer paso de la producción del papel, con la ventaja de que no necesita el blanqueado que se requiere para eliminar el color en la producción de papel bond y similares. También se produce de este modo el papel tipo Kraft. Los usos del cartón tienen un gran mercado como láminas y empaques (Islas, 2007).

La lignina del bagazo se ha empleado como mejorador y estabilizador del suelo. El compostaje puede llevarse a cabo usando bagazo con alguna fuente de nitrógeno (por ejemplo, desperdicios animales), reduciendo así la necesidad de recurrir a rellenos sanitarios u otros métodos de manejo de desechos (Islas, 2007).

El bagazo brinda muchos beneficios, sin embargo, sus usos son muy escasos en México, debido a que se desconocen y a que la mayor parte se destina para la cogeneración de energía y papel, con una participación casi nula en la fabricación de productos aglomerados y como alimento de ganado. Es por ello que se siguen investigando las aplicaciones y todas las bondades que este desecho nos brinda, con el fin de promover su utilización y obtener otros derivados de gran importancia, cuyos productos finales pueden tener alto valor comercial con un aprovechamiento integral sin causar daño al medio ambiente (Martínez, 2007).

### 5.5.2 Cachaza y vinaza

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30 a 50 kg de cachaza. Resultados obtenidos indican que la cachaza es rica en N, P, K y Ca, y que su uso como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo; incrementa temporalmente la capacidad de intercambio

catiónico del suelo por la producción de humus, aumenta la capacidad de retención de humedad del mismo y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO<sub>2</sub> que al transformarse en H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> disuelve, junto con otros ácidos de origen orgánico, los nutrientes insolubles en suelos con pH alcalino. El composteo de la cachaza es una alternativa que permite reducir las dosis de aplicación, facilitando su transporte y aplicación en campo, por lo que favorece el proceso de mineralización, lo cual a su vez permite una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Hernández, 2008).

Por otro lado, la vinaza constituye el principal residuo líquido producto de la fermentación de la melaza para la obtención de alcohol; por cada litro de alcohol producido se generan 13 litros de vinaza. Tiene elevadas concentraciones de K, Ca y materia orgánica disuelta, así como niveles medios de N y P. La dosis de 100 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza incrementa los rendimientos de caña en campo un 23 % en soca I y un 65 % en soca II, así como también aumenta el rendimiento de azúcar en 22 % en plantillas, 30 % en soca I y 63 % en soca II. La aplicación de vinaza promueve la lixiviación de K, Ca, Mg y S a través del tiempo, alcanzando profundidades de 0.75 a 3.5 m, favoreciendo el desarrollo profundo de las raíces (Hernández, 2008).

#### 5.5.2.1 Ventajas y desventajas de la utilización del compost de cachaza y vinaza en el cultivo de caña de azúcar

En México, el transporte de la cachaza del ingenio a las áreas de cultivo se realiza mediante el uso de camiones de volteo, mientras que la vinaza se traslada en asperpipas y vinazoductos. Estos residuos se han aplicado individualmente o en combinación con la dosis NPK 160-80-80 para potenciar su efecto. La cachaza en forma fresca contiene 70 % de humedad, lo cual dificulta su transporte y aplicación en campo. Sin embargo, el compostaje y vermicompostaje de este subproducto reduce significativamente las desventajas al momento de transportarlo y aplicarlo (Quiroz y Pérez, 2013).

Por otro lado, existen varios usos de la vinaza. Subirós y Molina (1992) indican que su uso principal es en la fertilización de los suelos, alimentación animal y en la producción de gas metano. En algunos ingenios, como Pujilic en Chiapas, las vinazas son vertidas a la red de drenaje para su posterior utilización como agua de riego o fertirriego en el cultivo de la caña de azúcar. Aunque este tipo de aplicación presenta la desventaja de utilizar agua para diluir la vinaza y efectos colaterales de contaminación de cauces naturales (Quiroz y Pérez, 2013).

Desde el punto de vista social, existe cierto rechazo en el uso de la vinaza y compost de cachaza en el cultivo de caña de azúcar. En la zona de abasto del ingenio La Gloria, en el estado de Veracruz, los productores perciben negativamente el precio y la cantidad de compost de cachaza aplicado por hectárea, y prefieren comprar fertilizante, ya que el compost de cachaza no tiene efectos a corto plazo, por lo que la actitud de éstos hacia el uso de compost es negativa. Respecto a la vinaza, los productores también la

perciben negativamente por su olor desagradable y la forma de aplicarla, ya que consideran que cuando las pipas entran al campo de cultivo dañan el suelo y a la caña.

La composta como acondicionador orgánico natural mejora a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, incrementa la porosidad, disminuye la densidad aparente, consolida la estructura y consistencia, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, capacidad buffer, la concentración de algunos nutrientes esenciales y la actividad biológica del suelo (Bohórquez *et al.*, 2014).

## 5.6 Otros usos de la caña de azúcar

La caña de azúcar ha tenido como principal objetivo la producción de azúcar, no obstante, en los países productores de caña su empleo como forraje para alimentación de rumiantes ha crecido y existen diversos subproductos que pueden ser utilizados en la alimentación animal, tales como: bagazo, melaza y cachaza, a nivel de campo se pueden coleccionar residuos de la cosecha compuestos por el cogollo o puntas de caña (Bustamante, 2004).

La caña de azúcar tiene la particularidad de acumular azúcares a medida que madura la planta sin alterar su valor digestible y es la planta de mayor rendimiento de forraje por hectárea y de disponibilidad durante todo el año. Se utiliza el hidróxido de sodio, también conocido como sosa cáustica. Al agregarlo a la caña picada impide que se produzca alcohol durante el proceso de fermentación, mejorando así su calidad e incrementando el consumo del forraje por los animales (Bustamante, 2004).

Si bien es cierto que la caña tiene una gran capacidad de producción de forraje por unidad de superficie, también presenta una serie de limitantes nutricionales y fisiológicas, que afectan tanto el consumo como la eficiencia con que es utilizada por los bovinos y cerdos principalmente.

Es una excelente alternativa forrajera para zonas de temporal y con limitaciones de riego; debido a su alto potencial para producir forraje verde. Por otra parte, el momento de mayor escasez de forrajes para el ganado coincide con el pico de producción de la caña por lo tanto se puede garantizar una fuente alimenticia para el ganado durante el temporal de secas (Bustamante, 2004).

Debido a la actual crisis económica, resulta cada vez más difícil la importación de granos para la alimentación de ganado, principalmente cerdos y aves, por lo que se espera un futuro promisorio en el uso de la caña, jugo de caña, melaza y otros subproductos, que podrían desempeñar un papel fundamental como sustitutos de los granos, para lo que ya existe la tecnología disponible que podría ser aplicada en forma demostrativa a nivel comercial para ir venciendo gradualmente la resistencia al cambio de los productores. Por esta razón, las empresas ganaderas que menos dependan de la compra de insumos, serán las menos afectadas, por lo que esta crisis será un factor favorable en el sentido de que se tendrán que desarrollar sistemas más apropiados para el trópico y, sin duda, la caña de azúcar y sus subproductos tendrán mucho que aportar en México.

### 5.6.1 Azúcar orgánica: otra segmentación de mercado

Existen dos modalidades de certificación: caña orgánica y azúcar integral orgánica. La primera se refiere a que sólo el proceso de producción de caña cumplió con los estándares orgánicos, y la segunda asegura que además se cumplió con un procesamiento orgánico. El azúcar integral orgánica tiene la característica de que en su proceso no se usa cal industrial, azufre, ni ácido fosfórico para clarificarlo, sino que más bien se conserva natural, conteniendo todos los nutrientes, minerales y vitaminas esenciales propias de los jugos de caña, además, por supuesto, de evitar el uso de agroquímicos durante el cultivo y la quema de plantaciones, que tanto perjudica al ambiente y a los suelos agrícolas.

En México, sólo el ingenio Calipam en Puebla, presentaba certificación como productor de caña orgánica en 2010, con serios problemas para su producción en las siguientes zafra, que terminó por perderse para la zafra 2012, debido a los altos costos que representa para los cañeros, y el ingenio no asume ese excedente. No obstante, la empresa Zucarmex SA de CV (Figura 118) conformada por cuatro ingenios Pujilic (Chiapas), Mahuixtlán (Veracruz), El Higo (Veracruz), y Melchor Ocampo (Jalisco) producen azúcar orgánico que se comercializa en establecimientos como Walmart, Comercial Mexicana y Soriana a precios muy por encima de los convencionales, al considerar una prima como premio por contar con la certificación orgánica.

Figura 118. Zucarmex empresa comercializadora de azúcar orgánico en México.



Por los patrones de consumo y los estándares nutricionales que se desarrollan en la actualidad, con un sistema globalizado de productos, el azúcar orgánico puede significar un segmento de mercado importante para agregarle valor, considerando que la demanda de los productos orgánicos crece a un ritmo exponencial, sobre todo en los mercados europeo, asiático y de Estados Unidos, lo que mejoraría sustancialmente los ingresos de la industria azucarera y, por consecuencia, los productores de la materia prima.

# 6

## La agroindustria cañera en Brasil



Coautor: Vinicius de Abreu Waldow\*

\*Licenciado en biología y maestro en biología molecular y celular por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS), y analista ambiental en la gestión de Biotecnología del Centro de Investigación y Desarrollo Leopoldo Miguez de Mello de PETROBRAS. Av. Horácio Macedo, 950 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

### 6.1 Resumen

La agroindustria cañera de Brasil posiciona a este país como el mayor productor de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) del mundo, el mayor productor y exportador de azúcar, y el segundo mayor productor y consumidor de etanol combustible. En este capítulo se ofrece una visión histórica de cómo la agroindustria cañera, presente en el país desde 1534, y durante siglos destinada principalmente a la producción de azúcar, se modernizó durante el siglo xx, hasta que en la actualidad produce de manera competitiva e integrada no sólo azúcar, sino también etanol, bioelectricidad y bioproductos de alto valor añadido. La situación actual del sector sucroenergético se evalúa en términos de su importancia socioeconómica en Brasil y en el mundo, su distribución geográfica en el país, su dinámica de producción, su interacción con otros mercados, su regulación por el gobierno brasileño, y la gestión de los cultivares, subproductos y residuos. Por último, las perspectivas para el sector se discuten en relación con las posibilidades de expansión de la producción y la exportación, el advenimiento de nuevas materias primas (tales como la caña energía), nuevos productos (como el etanol de segunda generación) y posibles sustitutos de los edulcorantes de azúcar. A pesar de la crisis que la agroindustria cañera ha experimentado en los últimos años, existe evidencia de que la larga experiencia y las ventajas competitivas de Brasil harán que el país permanezca como uno de los protagonistas en el comercio internacional y el desarrollo tecnológico relacionado con la caña de azúcar y los productos derivados de ese cultivo.

### 6.2 Introducción

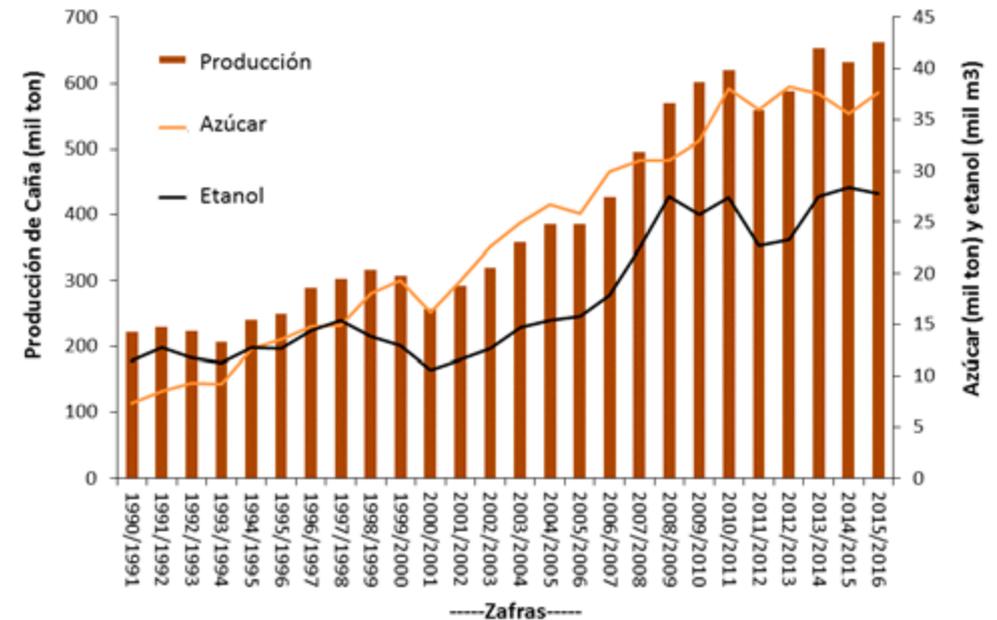
La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) fue uno de los primeros cultivos introducidos por los portugueses en el Brasil colonial durante las primeras décadas del siglo xvi. El comercio trasatlántico de azúcar de origen brasileño, establecido por los portugueses en el siglo xvii, fue eclipsado por la producción de las colonias holandesas y británicas, y fue solo a partir del siglo xx que la agroindustria cañera de Brasil recobró importancia en el mercado mundial del azúcar. Los subsidios e intervenciones estatales han jugado un papel importante en el reciente proceso de expansión de la agroindustria cañera, entre los que destacan el Instituto de Azúcar y Alcohol (IAA), creado en 1933 en respuesta a la crisis mundial de 1929, y el Programa Nacional del Alcohol (Pró-Álcool) lanzado en 1975

en respuesta a la primera crisis del petróleo. Los incentivos estatales y las innovaciones tecnológicas presentaron un notable crecimiento en el volumen de producción y en la productividad de la agroindustria cañera en Brasil, durante la segunda mitad del siglo xx.

Durante la década de los años noventa y la primera década de este siglo prevalecieron tres factores que dieron lugar a cambios drásticos en la configuración de la agroindustria cañera de Brasil. El primer factor fue la reducción de la intervención estatal en la economía brasileña que se inició durante la década de 1990, cuando se abolió el IAA, y en 1999, cuando los precios de los principales productos de la agroindustria cañera fueron liberados del control estatal; este liberalismo económico obligó a las empresas del sector a modernizar sus procesos de producción y gestión. El segundo factor ocurrió con el cambio en el marco regulatorio para el sector eléctrico, lo que hizo que las condiciones se volvieran más favorables y por lo tanto se estimuló la comercialización de bioelectricidad por medio de plantas de caña de azúcar. El tercer factor fue la rápida propagación de los vehículos *flex-fuel* en Brasil de 2003 en adelante, lo cual amplió el mercado de etanol combustible en el país. Por último, el cuarto factor consistió en la creciente preocupación por el medio ambiente, en particular toda aquella relacionada con el cambio climático, lo que llevó a grandes empresas extranjeras a participar en la agroindustria cañera de Brasil, previendo la consolidación de un mercado internacional para el etanol combustible como sustituto de la gasolina.

En la actualidad, Brasil es el mayor productor de caña de azúcar, con alrededor de 35 % de la producción mundial (FAO, 2013). La producción brasileña ha aumentado en las últimas décadas, alcanzando una molienda de 665 millones de toneladas durante la zafra 2015/2016 (BRASIL, 2016) (Figura 119). Brasil es el mayor productor y exportador de azúcar, con una producción de 36 millones de toneladas y un total de 24 millones de toneladas destinadas a la exportación durante la zafra 2014/2015: estas cifras ascienden a 20 % y 40 % del volumen mundial, respectivamente. El país es también el segundo mayor productor de etanol, con una producción de 26.8 millones de litros, lo que representó el 28 % de la oferta mundial de este biocombustible en 2015, sólo por debajo de los Estados Unidos, con 55.7 millones de litros y 58% de la oferta mundial (Ethanol RFA, 2016).

Figura 119. Producción de caña, azúcar y etanol en los últimos 25 ciclos de cultivo en Brasil.



Fuente: (Brasil, 2016).

En la matriz energética brasileña, la biomasa de caña de azúcar consiste en la segunda más importante fuente de energía primaria, representando el 15.7% del suministro total de energía doméstica en 2014 (EPE, 2015). Tan solo la caña de azúcar posiciona a Brasil por encima de la media mundial en el uso de fuentes renovables (13.2% en 2012), pero la proporción de fuentes renovables en la matriz energética brasileña fue del 39.4% en 2015; por lo tanto, también incluye la energía hidroeléctrica (11.5%), madera y carbón vegetal (8.1%) y otras fuentes renovables (4.1%). La energía producida por el bagazo y la paja de la caña de azúcar distribuida en la red ofreció servicio equivalente a casi 10 millones de hogares en 2014, que se estima, evitó la emisión de 8.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (UNICA, 2016).

La caña de azúcar ocupaba un total de 9.7 millones de hectáreas en la zafra 2015/2016, lo que representa un 2.8% del total de tierras cultivables (340 millones de hectáreas) y el 1.1% del territorio nacional (851 millones de hectáreas) (Manzatto *et al.*, 2009; Moraes y Zilberman, 2014). La Zonificación Agroecológica de la Caña de Azúcar fue aprobada en 2009 por el gobierno brasileño y permite la expansión de la corriente de 9.7 millones a un máximo de 64.7 millones de hectáreas. A pesar de permitir un aumento de casi siete veces la superficie de cultivo, la zonificación prohíbe la expansión de las plan-

taciones de caña de azúcar y la construcción de nuevas plantas en varias regiones de Brasil. Estos criterios dieron lugar a la exclusión del 92.5% del territorio nacional como zona en la que se permite el cultivo de caña (Moraes y Zilberman, 2014).

La gran expansión de la producción de caña de azúcar en Brasil en las últimas décadas se produjo en conjunción con una diversificación de la cartera de los productos de la agroindustria cañera, con el aumento de la producción de etanol a partir del Pró-Álcool en la década de 1970 y, más tarde, un aumento de la generación de bioelectricidad, a partir de la década de 1990. Esta diversificación ha dado flexibilidad a la agroindustria cañera en la distribución de los azúcares totales recuperables (ATR) entre la producción de azúcar y de etanol, la decisión está basada en el rendimiento de los dos productos, y desempeñando así un papel importante en la regulación y estabilización del mercado internacional del azúcar (ISO, 2012).

La caña de azúcar representa el segundo lugar en valor de la producción agrícola en Brasil. Teniendo en cuenta la conversión de la caña de azúcar en azúcar, etanol y bioelectricidad, el valor manejado por la agroindustria cañera es aún mayor, haciendo de la cadena de caña de azúcar la agroindustria brasileña más importante de acuerdo al valor de la producción. Además de los productos tradicionales (azúcar y etanol), se han dado a la caña de azúcar otros fines, añadiendo más valor a su cadena de producción (Cheavegatti-Gianotto *et al.*, 2011).

### 6.3 Dinámica de la producción de caña de azúcar

La producción brasileña de caña de azúcar es de amplia distribución geográfica. El país se divide generalmente en dos regiones productoras principales que difieren en condiciones de clima y suelo, en el contexto socioeconómico y en las características generales de su agroindustria cañera. La región Centro-Sur (que abarca el sureste, sur y centro-oeste) está más urbanizada y su industria es más avanzada tecnológicamente, y representa alrededor del 90% de la producción nacional de caña de azúcar, en contraste con la región Norte-Noreste (que cubre el norte y el noreste), responsable del 10% restante de la producción nacional.

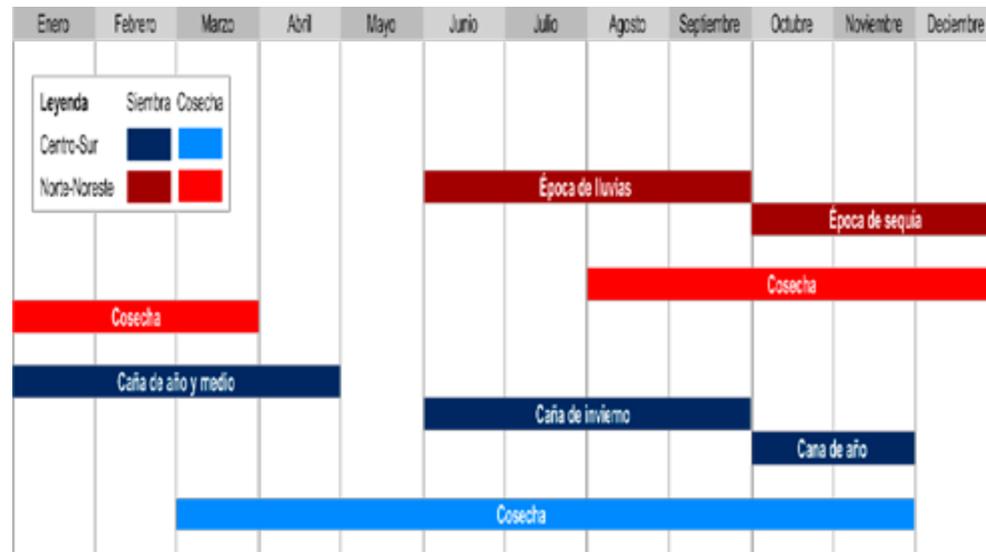
Los estados con el mayor volumen de producción se encuentran en el Centro-Sur. Por el momento, el principal centro de producción es el estado de São Paulo, que representa casi el 54% de la producción nacional, seguido de Goiás (10.4%), Minas Gerais (9.4%), Paraná y Mato Grosso do Sul (ambos con 6.8%). Resulta interesante que durante casi cuatro siglos, el noreste fue el mayor centro de producción de caña de azúcar en Brasil; no obstante, fue en el siglo XX que dio paso a la región Centro-Sur (principalmente para el estado de São Paulo) para ser el principal centro de producción. En la actualidad, la región Centro-Oeste constituye la principal frontera de expansión para el cultivo de la caña de azúcar en Brasil (donde se encuentran los estados de Goiás y Mato Grosso do Sul, entre otros).

La caña de azúcar se clasifica como una planta semiperenne. Este cultivo se desarrolla y experimenta un primer ciclo de producción (en lo que se llama de la caña planta y tiene una duración de entre 12 y 18 meses); entonces rebrota varias veces, independientemente de la plantación de los siguientes ciclos de producción (en el que se llama caña soca, y tiene una duración de 12 meses cada uno). Sin embargo, la productividad y el rendimiento caen sobre los ciclos de cultivo de la caña de azúcar, de modo que el cañaveral debe ser renovado después de un determinado número de cortes. En Brasil, el promedio ha sido cerca de cinco ciclos de producción de la siembra y renovación y la tasa de renovación de los cañaverales ha sido de aproximadamente 20% por año (Brasil, 2013).

La temporada de siembra se diferencia entre las dos principales regiones productoras (Figura 120). En Centro-Sur, la siembra se lleva a cabo en tres estaciones: de enero a abril (caña de medio año), de junio a septiembre (caña de invierno), y en octubre y noviembre (caña de año). Esta región es donde la siembra manual ha sido sustituida por un tipo de plantación más mecanizada, que alcanzó la marca de 76% de la superficie cultivada en la cosecha 2014/2015 (UNICA, 2015). Por el contrario, la siembra en el Norte-Noreste se lleva a cabo durante el invierno (época de lluvias, de junio a septiembre) y primavera (temporada más seca, de septiembre a diciembre).

El periodo de cosecha también difiere entre las dos principales regiones productoras (Figura 120). En Centro-Sur, la cosecha comienza en marzo y abril, y se extiende hasta noviembre; ya en el nordeste, se inicia entre agosto y septiembre y termina en marzo del año siguiente. Por lo tanto, se considera que la campaña agrícola en el país en su conjunto comienza en abril de un año y termina en marzo del siguiente año. A fin de garantizar una cosecha distribuida por todo el periodo de cosecha, las plantas deben contar con un compuesto de variedades de maduración temprana, semitardía y tardía. En Brasil, la gestión varietal dio como resultado la siguiente distribución en la zafra 2011/2012: 39% de la superficie está plantada con cultivares precoces, y el 61% restante con cultivares de madurez semitardía y tardía (Brasil, 2013). Por lo tanto, el país mantiene con diferentes intensidades el procesamiento de la caña de azúcar en casi todos los meses del año.

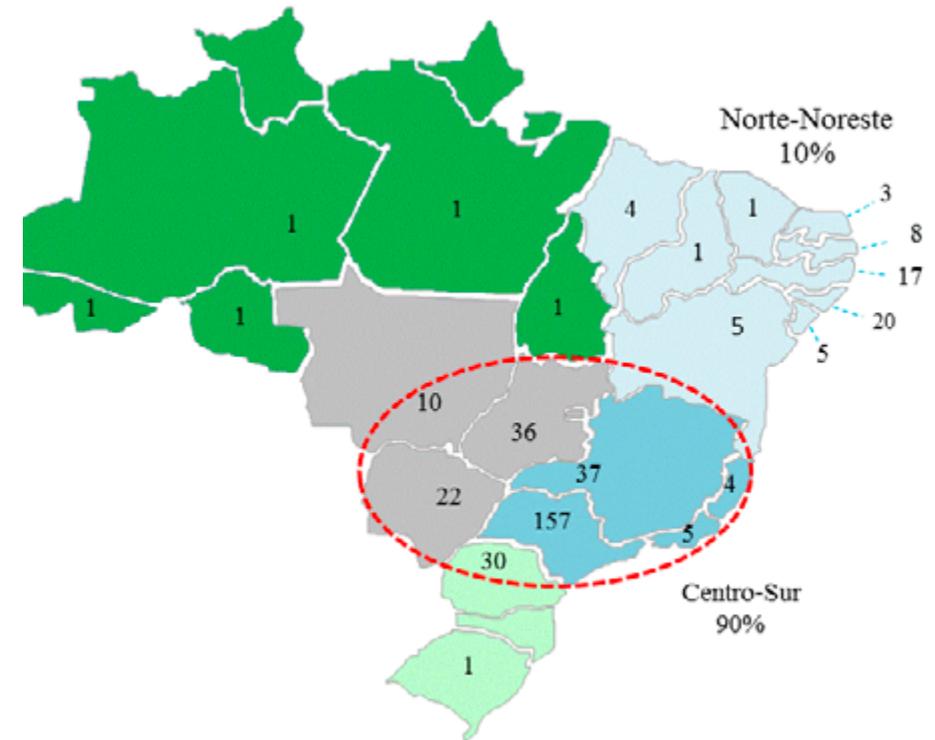
Figura 120. Siembra y cosecha de caña de azúcar en las regiones Norte-Noreste y Centro-Sur de Brasil.



Fuente: elaboración propia.

La producción de azúcar y etanol se produjo en 371 ingenios sucroenergéticos en la zafra 2014/2015, que se distribuyeron en 23 estados. Sin embargo, esta distribución se concentró principalmente en el Centro-Sur (302 ingenios o el 81% del total), especialmente en el estado de São Paulo (157 ingenios o el 42% del total) (Figura 121) (NovaCana, 2016; UNICA, 2015). La producción de caña de azúcar que alimentó estas plantas se produjo en 1,140 municipios brasileños (Markestrat, 2015).

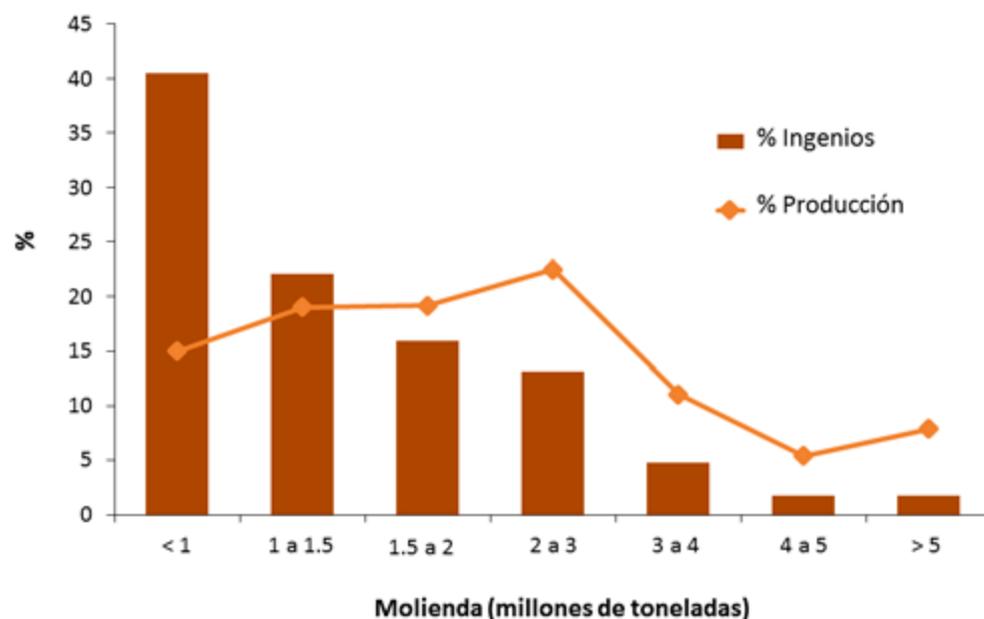
Figura 121. Distribución de ingenios sucroenergéticos entre los estados y el porcentaje de la producción de caña de azúcar en las dos principales regiones productoras de caña de azúcar en Brasil.



Fuente: (NovaCana, 2016; UNICA, 2015).

La capacidad de procesamiento de los ingenios sucroenergéticos oscila entre 500,000 t y 8.5 millones de toneladas por año (Figura 122). Alrededor del 40% de los ingenios de Brasil presentó un procesamiento de hasta un millón de toneladas por zafra, y son responsables por el 15% de la producción nacional. El mayor volumen de molienda se produjo en unidades con una capacidad de entre 2 y 3 millones de toneladas de caña procesada, con más del 20% de la producción nacional en la zafra 2011/2012 (Brasil, 2013). En esa misma zafra, el procesamiento de las unidades de más de 5 millones de toneladas representó aproximadamente el 8% de la producción total nacional.

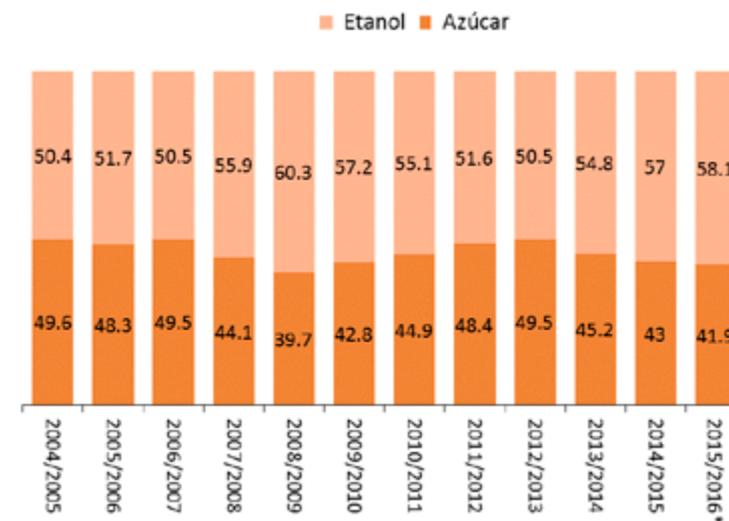
Figura 122. Distribución y volumen de producción de los ingenios de acuerdo con la capacidad de molienda de caña de azúcar en Brasil.



Fuente: (Brasil, 2013).

Entre los ingenios brasileños, alrededor del 64% de las unidades industriales son mixtas; es decir, tienen la capacidad de producir tanto el azúcar como el etanol (Brasil, 2013). Esta posibilidad de asignar la misma materia prima para la fabricación de productos alternativos en el mismo ingenio resulta en beneficios obvios en el manejo del negocio, que le permita la distribución de la producción basada en la relación costo beneficio de los productos, en el momento en que la caña de azúcar es procesada. En las últimas cosechas se han observado cambios en la proporción entre los dos principales productos de la caña de azúcar en Brasil, con un aumento en la producción de etanol en comparación con el azúcar, y esta variación puede ser relacionada con los precios de estos productos en el mercado (Figura 123).

Figura 123. Distribución de azúcares totales recuperables entre la producción de azúcar y de etanol en las cosechas 2004/2005 y 2015/2016 en Brasil.



Fuente: (UNICA, 2016). \* = Previsión

Los ingenios sucroenergéticos brasileños se suministran de caña de azúcar producida en campos propios o alquilados, y también con la producida por proveedores, llamados productores independientes. En las últimas décadas, la distribución del volumen de caña suministrada ha variado entre el 60 y el 70% de los cañaverales gestionados por los propios ingenios, y del 30 al 40% para los cañaverales de terceros (Bastos y Moraes, 2014; Brasil, 2015; PECEGE, 2015). Por lo tanto, se observa una integración vertical en el sector sucroenergético brasileño, debido a que la mayoría de las plantas opera tanto en la producción agrícola como en el procesamiento industrial, en contraste con otros países productores.

La mayoría de los proveedores cumple contratos de suministro plurianuales con los ingenios. En los principales centros productores, el precio pagado por la caña de azúcar se establece en función de la cantidad de azúcares totales recuperables (ATR, en kg de azúcar por tonelada de caña) y la calidad de la materia prima suministrada (evaluada por parámetros establecidos). Este sistema de pago se adopta de forma voluntaria y se inició en el estado de São Paulo, siendo diseñado y gestionado por el Consejo de Productores de Azúcar de Caña, Azúcar y Alcohol (Consecana), una organización de alcance estatal que reúne a representantes de los proveedores y de los ingenios (Bastos y Moraes, 2014). Este sistema tiene por objeto estimular a los productores independientes a suministrar la materia prima en buen estado, ya que hay sanciones o premios sobre el precio pagado de acuerdo con la calidad de la caña suministrada (Fernandes, 2011).

La industria de la caña de azúcar genera casi 613,000 empleos formales directos, llegando a 988,000 cuando se incluyen los empleos temporales creados durante el pico de la cosecha. Si todavía se consideran los empleos informales, directos e indirectos, el número de empleados alcanza 3.56 millones (Neves y Trombin, 2014). En Brasil, operan alrededor de 70,000 agricultores de caña de azúcar independientes (UNICA, 2015), y una encuesta realizada durante la cosecha 2011/2012 con casi 20,000 productores del Centro-Sur indicó una diseminación de la producción: 85% de ellos produjo hasta 6,000 toneladas en esa cosecha (Bastos y Moraes, 2014) (Tabla 77).

Tabla 77. Distribución de 19,382 proveedores de caña de azúcar en la región Centro-Sur por volumen de producción durante la zafra 2011/2012.

Producción (t)	% de productores
<1,000	45.86
1,000 a 6,000	39.58
6,000 a 12,000	7.53
12,000 a 25,000	4.06
25,000 a 50,000	1.89
50,000 a 100,000	0.63
>100,000	0.45
Total	100.00

Fuente: (Bastos y Moraes, 2014).

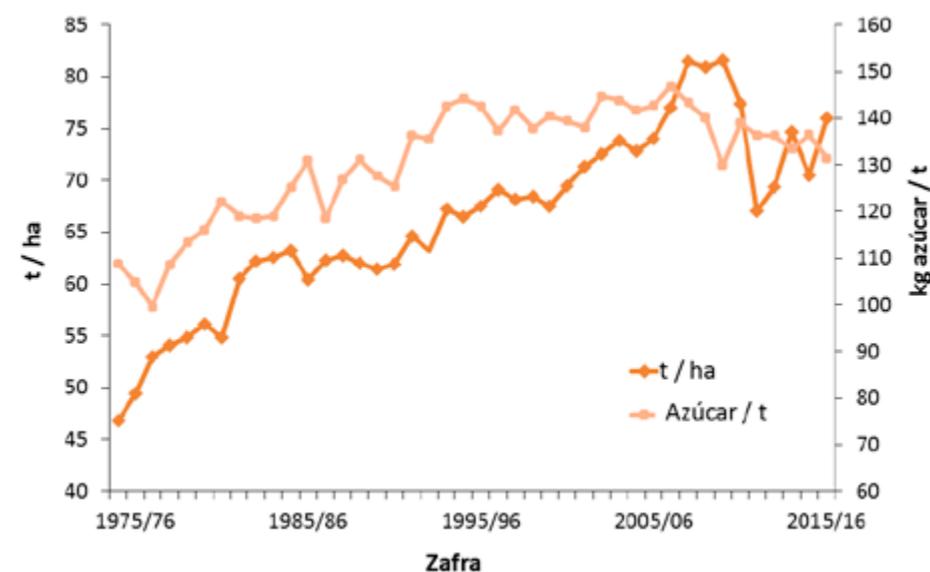
Una tercera fuente de ingresos para el sector sucroenergético, además del azúcar y el etanol, es la comercialización de bioelectricidad generada por la combustión de bagazo. La caña de azúcar es la fuente primaria de energía renovable en el país con la mayor participación en la matriz energética brasileña: 15.7% del suministro de energía interna total (Brasil, 2015).

### 6.3.1 Eficiencia productiva en campo y fábrica

En las décadas recientes, las innovaciones tecnológicas en el campo y en la industria han dado lugar a un aumento significativo en la producción de caña de azúcar y sus derivados en Brasil. Durante los últimos 40 años ha habido un aumento en la productividad de 47 a más de 70 toneladas de caña de azúcar por hectárea, y de 108 a más de 130 kg de ATR por tonelada de caña (Figura 124). Para fines de comparación, el promedio de la productividad de toneladas de azúcar por hectárea (ATR/ha) se duplicó

entre 1975 y 2015: de 5 a 10 toneladas por hectárea (el más alto rendimiento del azúcar alcanzado en Brasil ocurrió en la zafra 2007/2008: 11.6 toneladas por hectárea) (Brasil, 2015). Sin embargo, la productividad agrícola sufrió una disminución significativa en las últimas cosechas, que se ha atribuido a factores cíclicos, como el mal tiempo y la baja tasa de renovación de los cañaverales. Por otro lado, cuando se hace el análisis de la curva de productividad en una ventana de tiempo más amplia, existe una clara reducción en incrementos durante los años hacia lo que parece ser una meseta, lo que sugiere también la influencia de factores de carácter estructural (Nyko *et al.*, 2013).

Figura 124. Productividad de la caña de azúcar por hectárea, y del azúcar (ATR) por tonelada de caña en Brasil en las últimas cuatro décadas.



Fuente: (CONAB, 2015; MAPA, 2015).

Aun así, se debe reconocer que la expansión geográfica y el aumento de la productividad del sector cañero en el siglo XX fueron posibles gracias a la innovación y la adopción de mejores prácticas agronómicas y del uso de nuevas variedades de los programas de mejoramiento genético que operan en el país (Cheavegatti-Gianotto *et al.*, 2011). Los primeros programas de mejoramiento genético de caña de azúcar en Brasil comenzaron en las primeras décadas del siglo XX, y en la actualidad hay tres grandes programas activos, dos de ellos públicos (IAC y RIDESA) y un privado (CTC) (Tabla 78).

Tabla 78. Principales programas de mejoramiento de caña de azúcar en Brasil.

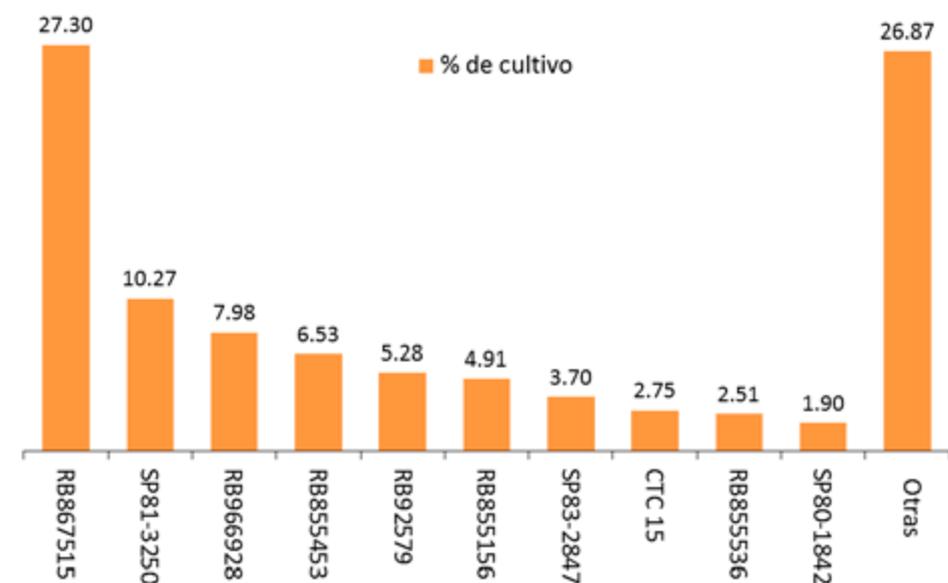
Programa de mejoramiento	Periodo activo	Compendio
Escada-PE	1913-1924	EB
Campos-RJ	1916-1972	CB
Barreiros-PE	1924-1933	EB
São Bento, Tapera-PE	1928-?	SBP
Curado, Recife-PE	1933-1974	(PB) - IANE
EECAPO, Piracicaba-SP	1928-1935	-
IAC, Campinas-SP	1935-(* )	IAC
Copereste, Sertãozinho-SP	1963-1969	COP
EECA, Río Largo-AL	1968-1971	-
Copersucar, Piracicaba-SP	1968-2004	SP
CTC, Piracicaba-SP (**)	2004-(* )	CTC
Planalsucar, presente en varios estados	1971-1990	RB
Planta de Barra, Barra Bonita-SP	1975-1996	PO
RIDES A, presente en diez estados	1991-(* )	RB
CanaVialis, Campinas-SP	2003-2015	CV

(\* ) El programa sigue activo. (\*\* ) El CTC heredó los recursos de Copersucar.

Fuente: (Cheavegatti-Gianotto *et al.*, 2011; y actualizado por los autores).

En los últimos años se ha presentado un aumento en la diversidad de los cultivos sembrados en Brasil; en 1995, el 70% de la superficie total destinada al cultivo de caña de azúcar fue ocupada por cinco cultivares, a diferencia de 2014, cuando diez variedades ocupaban la misma área en la región Centro-Sur (Figura 125) (Cheavegatti-Gianotto *et al.*, 2011; RIDESA, 2015). Una mayor diversificación de las variedades de caña de azúcar se considera un factor estratégico y de seguridad para los agentes productivos.

Figura 125. Porcentaje de la superficie cultivada de un total de 3.7 millones de hectáreas muestreadas en la región Centro-Sur en 2014.



Fuente: (RIDESA, 2015).

Con relación a la distribución de la superficie plantada entre los diferentes programas de mejoramiento genético, hay un predominio de dos programas de mejoramiento (Tabla 79). Un censo varietal en 2014 indicó que RIDESA (Red Interuniversitaria para el Desarrollo del Sector Sucreenergético, programa público de mejoramiento que se compone de diez universidades federales) encabeza por amplio margen con sus cultivares RB, tanto en términos de superficie sembrada (62%) como de nuevas áreas que están siendo sembradas (69%). El CTC (Centro de Tecnología Cañera) es una sociedad anónima desde 2011, y es mantenida por diversas empresas y proveedores del sector; sus cultivares CTC y SP (las últimas heredadas del antiguo programa de mejoramiento Copersucar) ocupan casi todo el resto de la superficie sembrada (35%) y de las nuevas áreas que están siendo sembradas (26%). Por último, el IAC (Instituto Agronómico) es una empresa pública vinculada al gobierno del estado de São Paulo y que tiene porcentajes mucho más bajos: sus cultivares representaron el 2% de la superficie sembrada y el 3% de las nuevas áreas que están siendo sembradas en 2014.

Tabla 79. Censo varietal por programa de mejoramiento en la región Centro-Sur en 2014.

Cultivares	Superficie sembrada (%)	Áreas que están siendo plantadas (%)
RB	62	69
SP	24	11
CTC	11	15
IAC	2	3
Otro	1	2
Total	100	100

Fuente: (RIDESA, 2015).

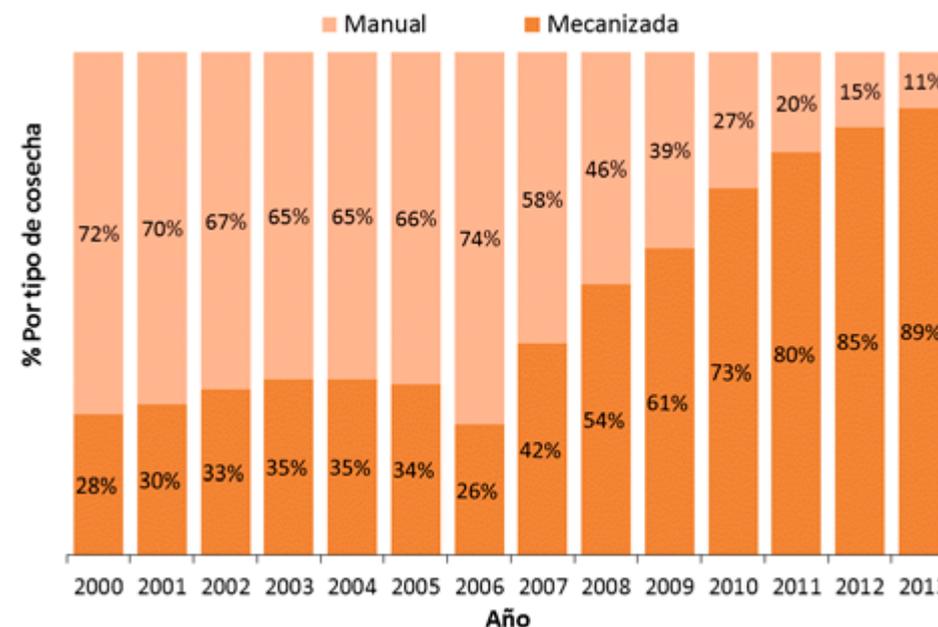
Censo realizado en 3.7 millones de hectáreas ya ocupadas, y 506,000 hectáreas en donde se ha sembrado en la región Centro-Sur.

El aumento significativo en la producción de caña de azúcar en Brasil es en gran parte debido a los esfuerzos de investigación y desarrollo (I+D) en las áreas agrícola e industrial, lo que resultó crucial para el éxito del cultivo en las últimas décadas. La I+D del sector sucroenergético brasileño recibe fondos de diferentes fuentes y formas, y diversas organizaciones públicas y privadas han realizado inversiones en áreas específicas, conforme el área de actuación de cada una dentro del sector. Algunas de las áreas de I+D relacionadas con la agroindustria cañera que se pueden citar son: el mejoramiento genético para obtener nuevos cultivares, la clonación y la producción de plantines, el sistema de producción agrícola (que incluye aspectos tales como la siembra, la preparación del suelo, el cultivo, la corrección del suelo, fertilización, riego, sanidad vegetal, cosecha y poscosecha), la transformación industrial (que incluye no solo la producción de azúcar, etanol y bioelectricidad, sino también de productos químicos de mayor valor añadido), y análisis acerca de la economicidad y de la sostenibilidad de la cadena productiva en su conjunto.

Además de los aspectos más destacados en términos del volumen de producción, la agroindustria cañera de Brasil también ha avanzado significativamente en la sostenibilidad de su cadena productiva. La preocupación por el medio ambiente a través de medidas de protección de los bosques de ribera, del desarrollo de tecnologías que resultan en procesos industriales más eficientes y del aumento de la cosecha mecánica contribuyen para que el sector cañero del Brasil se dirija cada vez a una producción más sostenible en términos de uso de la tierra y de los impactos ambientales (Galdos *et al.*, 2013).

La eliminación progresiva de las quemadas seguidas de la cosecha manual ha contribuido de manera significativa a la reducción de los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente. Además, los avances en las cuestiones agronómicas, energéticas y legislativas han coadyuvado a un cambio significativo en la cosecha de la caña de azúcar en Brasil (de 2000 hasta 2013 hubo un aumento importante de la cosecha mecánica en los cañaverales) (Figura 126).

Figura 126. Porcentaje de áreas cosechadas de forma manual o mecanizada en la región Centro-Sur de 2000 y 2013.



Fuente: (Neves y Trombin, 2014).

En Brasil, la cosecha y la transformación industrial de la caña de azúcar ocurre en una media de 6.5 meses (o 194 días) por año, con un tiempo de molienda de 21 horas al día durante este periodo, además de abarcar 4,000 horas de molienda por cosecha. Sin embargo, estos valores muestran variación entre las diferentes regiones y estados de Brasil (Tabla 80).

Tabla 80. Periodo promedio de molienda en los ingenios sucroenergéticos de Brasil durante la cosecha 2011/2012.

Estado/región	Horas por día	Días por año	Meses por año	Horas por cosecha
Sao Paulo	21.4	201	6.7	4,301
Centro-Sur	20.9	200	6.7	4,180
Noreste	21.0	171	5.7	3,591
Brasil	20.9	194	6.5	4,055

Fuente: (Brasil, 2013).

La tecnología de la producción de azúcar y etanol es muy similar entre los ingenios brasileños desde el punto de vista de los procesos industriales, pero hay algunas variaciones en los tipos y la calidad de los equipos, en los controles operacionales y en especial en los niveles gerenciales (Dias *et al.*, 2005). Hubo un notable desarrollo tecnológico en la transformación industrial en los ingenios de Brasil en las últimas décadas (Tabla 81), que estuvo asociado con la evolución tecnológica en el cultivo agrícola y en la gestión de los ingenios, y estos desarrollos han hecho el sector sucroenergético brasileño altamente competitivo (Leal, 2009).

Tabla 81. Evolución de algunos parámetros de rendimiento industrial de los ingenios sucroenergéticos de Brasil entre 1975 y 2009.

Índice	1975	2009
Capacidad de molienda: molienda 6x78" (tc/día)	5,500	15,000
Rendimiento de extracción (%)	93	97
Tiempo de fermentación (h)	16	8
Rendimiento de fermentación (%)	82	91
Rendimiento de destilación (%)	98	99,5
Rendimiento total (%)	66	86
Eficiencia de las calderas (%)	66	89
Eficiencia de los turbogeneradores (%)	50	75

Fuente: (Finguerut, 2005; Oliver, 2009; Leal, 2009).

El consumo medio de agua en un ingenio mixto con la producción dividida en 50% para el azúcar y 50% para el etanol es estimado en 22 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de caña procesada. El sector cañero capta en promedio menos de 2 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de caña, lo que indica un índice de reutilización del agua superior al 90% (Tabla 82) (Neto y Shintaku, 2009). Medidas tales como el cierre de los circuitos con reutilización del agua, la mejora de los procesos industriales (que resulta en una mayor eficiencia y menor demanda), el avance de la cosecha mecanizada de caña en bruto y la limpieza en seco han contribuido a este aumento de la eficiencia en el uso del agua por los ingenios (UNICA, 2015).

Tabla 82. Promedio de consumo de agua por actividad industrial en los ingenios sucroenergéticos de Brasil.

Sector	m <sup>3</sup> /tonelada	%
Alimentación, preparación y extracción	2.6	11.8
Tratamiento del jugo	0.6	2.6
Fabricación de azúcar	8.4	37.8
Fermentación	4.4	19.7
Destilería	3.9	17.4
Generación de energía	2.7	10.2
Otros	0.1	0.4
Total	22.7	100.0

Fuente: (Neto y Shintaku, 2009).

Cortez (2009) señala que la competitividad del sector sucroenergético en Brasil, especialmente en São Paulo, no se obtuvo recientemente, ni por casualidad. Hubo una política de inversión en la superación de dificultades, y en cada crisis relacionada al sector energético en general, y al sucroenergético en particular, políticas apropiadas fueron implementadas para superación de los problemas.

### 6.3.2 Cadena de valor campo-fábrica

En 2015, el agronegocio representó el 46.2% de la balanza comercial brasileña, que asciende a US\$ 88.2 mil millones en exportaciones. En ese mismo año, el sector sucroenergético fue el tercer segmento en la canasta de exportaciones del agronegocio en Brasil (Brasil, 2016).

La importancia del sector sucroenergético en la economía brasileña se hace evidente en algunos números. Un estudio detallado del tamaño del sector sucroenergético brasileño con los datos sobre la zafra 2013/2014 indica que el valor bruto movido por la cadena de la caña de azúcar se estima en US\$ 43.36 mil millones (equivalente a aproximadamente el 2% del PIB) (Tabla 83) (Neves y Trombin, 2014). Además de azúcar y etanol, los ingresos por venta de bioelectricidad, bioplásticos, levadura y aditivos, y créditos de carbono fueron de US\$ 1.2 mil millones, o cerca de un 3% de los ingresos totales de la industria.

Tabla 83. Estimación de los valores brutos de la agroindustria cañera de Brasil en la cosecha 2013/2014 calculado en millones de dólares.

Producto	Mercado interno	Mercado externo	Total de mercados
Hidratado	12,861.31	590.65	13,451.96
Etanol	Anhidro	1,075.71	9,965.79
	No-energético	654.85	654.85
Azúcar	6,926.80	11,109.85	18,036.65
Bioelectricidad	894.05	-	894.05
Bioplástico	90.00	210.00	300.00
Levadura y aditivos	21.20	0.27	55.33
Créditos de carbono	-	13,020.61	0.27
<b>Total</b>	<b>30,338.29</b>	<b>13,020.61</b>	<b>43,358.90</b>

Fuente: (Neves y Trombin, 2014).

El valor bruto manejado por la agroindustria cañera llegó a US\$ 107.72 mil millones de dólares cuando se incluye todas las ventas de los distintos eslabones de la cadena y de los servicios prestados por los facilitadores. De esta cantidad, el 65% estaba relacionado con la actividad industrial y la distribución (al por mayor y al por menor) de productos derivados de la caña de azúcar. Los segmentos «antes de la granja» y «en la granja» del proceso de producción representaron el 25% del movimiento financiero total, y los facilitadores constituyeron el 10% restante (Neves y Trombin, 2014). El segmento «antes de la granja» consiste en el conjunto de proveedores de maquinaria, equipos e insumos para la producción agrícola, y representó un ingreso estimado de US\$ 9.29 mil millones en ventas (Tabla 84).

Tabla 84. Componentes de la producción de la caña de azúcar «antes de la granja» y sus ingresos (US\$) en la cosecha 2013/2014.

Componente	US\$ (billones)	%
Control biológico	0.03	0.3
EPI	0.05	0.6
Carrocerías, remolques y semirremolques	0.11	1.2
Correctivos	0.17	1.8
Implementos	0.29	3.2
Tractores	0.33	3.5
Cosechadoras	0.41	4.4
Camiones	0.42	4.5
Defensivos	1.24	13.4
Lubricantes, aceites hidráulicos y combustibles	1.34	14.4
Fertilizantes	2.44	26.2
Piezas de automóviles y servicios de mantenimiento	2.46	26.5
<b>Total</b>	<b>9.29</b>	<b>100.0</b>

Fuente: (Neves y Trombin, 2014).

La producción de caña de azúcar durante la zafra 2013/2014 generó ingresos a los productores estimados en aproximadamente US\$ 18 mil millones. La producción derivada de productores integrados representó aproximadamente el 39% del suministro de la industria, con un valor de US\$ 7.0 mil millones. La producción propia por los ingenios representó aproximadamente el 61% de la materia prima utilizada en esta cosecha, y un ingreso de US\$ 10.93 mil millones.

Además de azúcar y etanol, otra fuente importante de ingresos para el sector ha sido la bioelectricidad –limpia y renovable–, misma que ha contribuido a la generación de ingresos para los ingenios, hecho relevante sobre todo en un contexto de crisis. De acuerdo con datos de 2013, la oferta de bioelectricidad al sistema eléctrico nacional fue de 1,720 MW, lo que representó el 7.5% de la potencia otorgada por la Agencia Nacional de Energía Eléctrica, la ANEEL (UNICA, 2016) (Tabla 85). El volumen estimado de las ventas de bioelectricidad alcanzó los US\$ 894 millones en la zafra 2013/2014 (Neves y Trombin, 2014).

Tabla 85. Origen y potencia de las diferentes fuentes de energía eléctrica en Brasil.

Origen	Potencia otorgada (kW)	Potencia otorgada (%)
Hídrico	94,758,193	64.63
Fósil	27,294,871	18.62
Biomasa	13,991,531	9.54
Biomasa de caña	10,983,141	7.49
Nuclear	1,990,000	1.36
Eólico	8,560,268	5.84
Solar	26,933	0.02
<b>Total</b>	<b>146,621,796</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (UNICA, 2016).

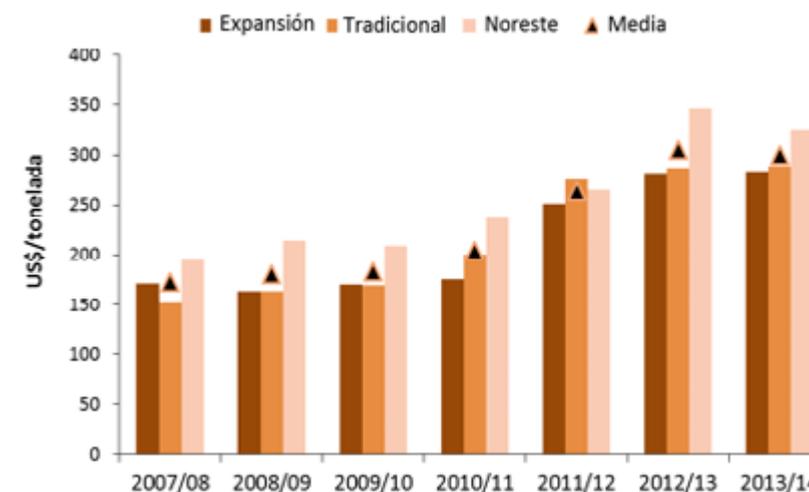
Al incluir todos los productos vendidos, las plantas generaron ingresos de US\$ 22.6 mil millones, divididos de la siguiente manera: US\$ 12.4 mil millones con etanol (55%), US\$ 9.8 mil millones con azúcar (43%), US\$ 389.6 millones con bioelectricidad (1.7%), y US\$ 67.1 millones de dólares con levadura, aditivos y créditos de carbono (0.3%).

En el cultivo de la caña de azúcar y en la producción de azúcar y etanol, se estima que la cadena emplea directamente a unas 613 mil personas, alcanzando 988 mil si se consideran los empleos temporales creados en el pico de la cosecha. Si se estiman los empleos informales, directos e indirectos, se llega a la marca de 3.56 millones de trabajadores. En el año 2013, la masa salarial del sector fue de US\$ 4.13 mil millones relativos a puestos de trabajo directos e indirectos (Neves y Trombin, 2014).

### 6.3.3 Análisis de costos

Aunque la producción del Centro-Sur sea considerada eficiente y de bajo costo en comparación con otros países productores, los costos de producción de la caña de azúcar en Brasil han aumentado en las últimas zafras, con tendencia anual de crecimiento por encima del 9% (Figura 127). Es importante destacar que este incremento en el costo de producción es aún mayor cuando se calcula en dólares (US\$) en lugar de reales (R\$), ya que la moneda brasileña se depreció frente al dólar en los últimos años: entre las zafras 2002/2003 y 2010/2011, el costo de la producción de azúcar en dólares aumentó aproximadamente un 210%, mientras que el mismo costo en reales aumentó en un 64% (USDA, 2013).

Figura 127. Evolución de los costos de producción de caña de azúcar producida por los propios ingenios, valores expresados en US\$ por tonelada. Las regiones de expansión en Centro-Sur se componen de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso y Mato Grosso do Sul; las regiones ya tradicionales del Centro-Sur cubren a São Paulo y Paraná. Tipo de cambio del dólar: US\$ 1,00 = R\$ 3,56, al 3 de abril de 2016.



Fuente: (Adaptado de PECEGE, 2015.)

En la actualidad se necesitan alrededor de 12 a 13 centavos de dólar para hacer una libra-peso de azúcar. En Tailandia, el segundo exportador del mundo, el costo es de cerca de 20 centavos de dólar, mientras que en la India el costo es de cerca de 25 centavos de dólar por libra-peso. A partir de estos datos podemos decir que Brasil es uno de los pocos que tienen sus costos cubiertos por los precios del azúcar en el mercado internacional (NovaCana, 2016).

El Centro-Sur es responsable por aproximadamente el 90% de la producción de caña de azúcar en Brasil, y en esta región se obtienen los rendimientos más altos, donde la producción se lleva a cabo casi en su totalidad sin el uso de riego. La gran mayoría de los ingenios que producen azúcar y etanol presenta un tamaño medio, considerado grande, y un periodo de cosecha largo: estos factores contribuyen a una producción eficiente y bajos niveles de capacidad ociosa en el sector. En un análisis que abarcó 23 años, en 17 de ellos el costo promedio de producción de azúcar en Brasil estuvo por debajo del costo de producción promedio en el mundo (USDA, 2013).

Las regiones de expansión de la caña de azúcar en el Centro-Sur (Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso y Mato Grosso do Sul) han logrado una mayor eficiencia de la producción, con menores costos de producción que las regiones más tradicionales (São Paulo y Paraná). Los costos de producción también difieren con relación a las

proporciones de los factores de producción: en la cosecha 2013/2014, el mayor uso de mano de obra en el Noreste resultó en un mayor peso de este artículo en los costos de producción, en comparación con otras regiones. En las áreas de expansión de la región Centro-Sur (Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso y Mato Grosso do Sul) hay una mayor demanda de mecanización y maquinaria, y los servicios de mantenimiento y reparación son más intensos, resultando en una mayor participación en los costos. Ya en las regiones tradicionales de la región Centro-Sur (São Paulo y Paraná) se destaca el costo de la tierra en comparación con otras regiones (Tabla 86).

Tabla 86. Distribución porcentual de los costos de producción en tres regiones de Brasil por factores de costos en la cosecha 2013/2014.

Factor de costo	Región		
	Tradicional	Expansión	Noreste
Caña	23.2	14.8	22.9
Servicios de maquinaria, mantenimiento y reparación	28.4	36.9	20.7
Costo de compensación de capital	14.2	16.0	13.8
Mano de obra	12.4	10.0	21.2
Insumos agroindustriales	10.8	12.6	12.6
Tierra	8.1	6.3	5.3
Otro	2.9	3.4	3.5
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Fuente: (PECEGE, 2015).

Los costos de producción de azúcar y etanol en la zafra 2013/2014 mostraron poca variación entre las dos regiones situadas en el centro-sur (expansión y tradicional), las cuales presentaron un menor costo que la región Noreste (Tabla 87).

Tabla 87. Los costos de producción de azúcar y etanol en Brasil en la cosecha 2013/2014.

Región	Azúcar (US\$/ton)		Etanol (US\$/m <sup>3</sup> )	
	Blanco	VHP	Anhidro	Hidratado
Expansión	3,250.3	3,157.7	5,226.1	4,902.1
Tradicional	3,321.5	3,157.7	5,201.2	4,891.4
Noreste	3,706.0	3,620.5	6,126.8	5,817.0

Tipo de cambio del dólar: US\$ 1.00 = R\$ 3.56, al día 3 de mayo de 2016.

Fuente: (adaptado de PECEGE, 2015).

Debido al gran volumen de producción de azúcar en Brasil, los eventos que tienen lugar en el país, tales como variaciones en la producción y aumentos de los costos de producción, tienen gran influencia en el mercado internacional del azúcar (USDA, 2013). Estos costos se ven fuertemente afectados por el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y el real brasileño, principalmente porque el azúcar se negocia en dólares en los mercados internacionales.

## 6.4 Política azucarera

En la actualidad, la política nacional para la producción de caña de azúcar es guiada por la expansión de la cultura sostenible, y está basada en criterios socioeconómicos y ambientales. El Decreto n° 6.961/2009 estableció la Zonificación Agroecológica de la Caña de Azúcar (ZAEcana) y determinó al Consejo Monetario Nacional el establecimiento de las normas para operaciones de financiación del sector sucroenergético en los términos de la zonificación (Brasil, 2009). El objetivo general de la Zonificación para la producción de etanol y azúcar es proporcionar apoyo técnico para la formulación de políticas públicas dirigidas a la ampliación y la producción sostenibles de caña de azúcar en Brasil. La Zonificación regula la plantación de caña de azúcar, teniendo en cuenta el medio ambiente y la aptitud económica de cada región: un estudio detallado permitió definir cuáles eran las zonas más propicias para el cultivo con base en los tipos de clima, suelo, biomasa y necesidad de riego.

Los principales indicadores considerados en la preparación de la Zonificación fueron la vulnerabilidad de la tierra, el riesgo climático, el potencial para la producción agrícola sostenible y la legislación ambiental vigente. Además, fueron excluidos: (1) la tierra con declividad superior al 12%, observándose la premisa de adopción de la cosecha mecánica sin quemadas en las áreas de expansión; (2) áreas con cubierta vegetal nativa; (3) los biomas Amazonas y Pantanal, y la Cuenca del Alto Paraguay; (4) las áreas de protección del medio ambiente; (5) las tierras indígenas; (6) remanentes de bosque; (7) las dunas; (8) los manglares; (9) las escarpadas y afloramientos de roca; (10) las reforestaciones, y (10) las zonas urbanas y de minería. En algunos de los estados productores de la región Centro-Sur (Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná y São Paulo), se mantuvo la permisión de cultivo en las áreas que fueron cultivadas con caña de azúcar en la cosecha 2007/2008, utilizando para ello un mapeo realizado por el proyecto CanaSat (Brasil, 2009).

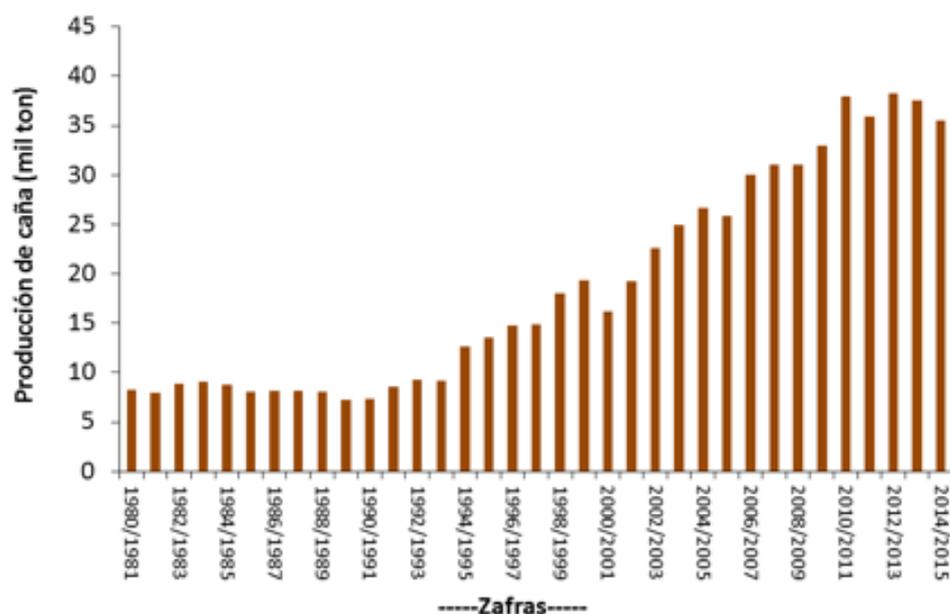
### 6.4.1 Producción y exportación de azúcar

El azúcar en bruto obtenido a partir del jugo de la caña se compone de 99.8% de sacarosa y 0.2% de impurezas (de los cuales: 0.04% de humedad; 0.07% de minerales; 0.07% de azúcar invertido; y 0.02% de material insoluble). El azúcar blanco refina-

do se obtiene al disolver el azúcar en bruto y eliminar por procesos físicos los materiales insolubles (Quast, 1986). Después de esta etapa adicional de purificación, el contenido en sacarosa del azúcar blanco refinado alcanza el 99.93% (Clarke, 1988).

La producción de azúcar en Brasil ha aumentado significativamente en las últimas décadas (Figura 128). En la actualidad, el país es el mayor productor de azúcar del mundo, con 36 millones de toneladas producidas y 24 millones de toneladas exportadas en la cosecha 2014/2015, que representan respectivamente el 20% de la producción mundial y el 40% de las exportaciones mundiales (Cuadro 88). China, Bangladesh e India son los tres principales importadores de azúcar de Brasil (Cuadro 89).

Figura 128. Producción de caña de azúcar en Brasil entre las cosechas 1980/1981 y 2014/2015.



Fuente: (Brasil, 2016).

Tabla 87. Exportaciones mensuales de azúcar en Brasil entre las cosechas 2014/2015 y 2015/2016.

Mes	Cosecha 2014/2015		Cosecha 2015/2016		Variación	
	Volumen (t)	Valor (US\$ mil)	Volumen (ton)	Valor (US\$ mil)	Volumen (t)	Valor (US\$ mil)
Abril	1,291,898	483,264	886,216	308,364	-31%	-36%
Mayo	1,465,474	585,772	1,834,586	617,243	25%	5%
Junio	1,855,936	754,774	1,999,688	642,279	8%	-15%
Julio	2,488,096	995,811	2,351,605	727,871	-5%	-27%
Agosto	2,306,168	944,508	1,811,440	546,467	-21%	-42%
Septiembre	2,209,378	892,811	1,763,706	536,529	-20%	-40%
Octubre	2,735,247	1,068,746	2,558,324	751,272	-6%	-30%
Noviembre	2,033,783	768,916	2,354,919	696,743	16%	-9%
Diciembre	2,249,193	820,819	2,842,654	833,493	26%	2%
Enero	2,362,163	836,641	1,496,083	432,871	-37%	-48%
Febrero	1,044,552	380,539	2,703,818	800,388	159%	110%
Marzo	2,202,359	763,912	-	-	-	-
Subtotal*	22,041,888	8,532,602	22,603,038	6,893,520	3%	-19%
Total	24,244,247	9,296,514	22,603,038	6,893,520	-7%	-26%

\* El subtotal aporta la suma de los valores de abril a febrero.

Fuente: (UNICA, 2016).

Tabla 88. Los principales importadores de azúcar de Brasil.

País	Volumen (mil ton)	Participación (%)
China	2,272,198	10.05
Bangladesh	2,114,467	9.35
India	1,734,661	7.67
Argelia	1,516,154	6.71
Emiratos Árabes Unidos	1,383,319	6.12
Nigeria	1,260,417	5.58
Arabia Saudita	1,027,014	4.54
Egipto	1,014,982	4.49

País	Volumen (mil ton)	Participación (%)
Rusia	901,218	3.99
Malasia	886,892	3.92
Otros	8,491,716	37.57
Total	22,603,038	100.00

\*Valores acumulados de abril a febrero de la zafra 2015/2016.

Fuente: (UNICA, 2016).

Los principales factores que han hecho de Brasil uno de los líderes del mercado de azúcar son: sus condiciones climáticas favorables para el cultivo de la caña de azúcar; el ciclo de cultivo, al ser más largo y ocurrir en diferentes periodos con respecto a los demás países productores; la flexibilidad para producir azúcar y etanol en ingenios mixtos; los incentivos del gobierno para el crecimiento del sector, entre otros. Estos factores han dado una ventaja competitiva a Brasil frente a otros países productores, y se refleja en su bajo costo de producción y el alto rendimiento agrícola.

## 6.5 Diversificación de usos de la caña de azúcar

En la actualidad, la agroindustria cañera de Brasil tiene como principales productos el azúcar, el etanol anhidro, el etanol hidratado y la bioelectricidad. El azúcar es el producto más tradicional y se ha producido en Brasil a partir del jugo de la caña desde la primera mitad del siglo XVI. La diversificación en el uso de la caña de azúcar se intensificó en el siglo XX: en 1931, el gobierno brasileño estableció el primer mandato legal a nivel nacional de mezcla del etanol combustible a la gasolina, y desde entonces el etanol anhidro ha disfrutado de una parcela del mercado de ciclo Otto proporcional al consumo de gasolina. El etanol hidratado comenzó a producirse a partir de 1979, cuando se inició la segunda fase de Pró-Álcool, en la cual los coches movidos a etanol fueron promovidos en Brasil (hoy en día son principalmente los automóviles *flex-fuel* que mantienen la demanda de etanol hidratado). Durante la década de 1990, los cambios en el marco regulatorio del sector eléctrico hicieron las condiciones más favorables para la comercialización de bioelectricidad generada por la combustión de bagazo, y varios ingenios respondieron a estas condiciones incluyendo la bioelectricidad en su cartera de productos. Más recientemente, ha habido un gran interés en la incorporación de nuevos productos por parte de la agroindustria cañera con el fin de explorar algunos de los nichos que han sido abiertos debido a la búsqueda para reemplazar los productos derivados de los recursos fósiles, en particular el etanol de segunda generación, los biocombustibles *drop-in* (principalmente el diésel renovable y el bioqueroseno de aviación) y los bioproductos de mayor valor añadido (por ejemplo, biopolímeros).

## 6.5.1 Producción de etanol

Brasil fue el primer país en introducir un biocombustible a gran escala en su matriz de energía: el etanol combustible (Boddey *et al.*, 2008). Los azúcares fermentables (sacarosa y sus dos monómeros constituyentes: fructosa y glucosa) que se acumulan en el tallo de la caña de azúcar constituyen la materia prima predominante en la producción de etanol en Brasil (el almidón de maíz comenzó a ser utilizado en los últimos años en algunos ingenios de la región Centro-Oeste). Los tallos se cosechan en el campo y son transportados al ingenio donde el prensado del tallo resulta en la obtención del jugo de caña de azúcar (rico en azúcares fermentables) y del bagazo (rico en lignocelulosa). El jugo se puede someter al proceso de cristalización (para la producción de azúcar, y que genera melaza como subproducto) o de fermentación por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (para producir etanol de primera generación o etanol 1G, y que genera la vinaza como subproducto). El etanol hidratado que se obtiene en la fermentación puede ser sometido a una etapa de deshidratación para convertirlo en etanol anhidro. La melaza es también rica en azúcares fermentables y puede ser dirigida a la fermentación para la producción de etanol. La vinaza se ha aplicado principalmente en la fertirrigación de los cañaverales. Hoy en día, el bagazo se dirige principalmente para la combustión en las calderas de cogeneración de energía térmica, mecánica y eléctrica (la paja también puede ser utilizada para este propósito, cuando una parte de la misma se toma del campo en la cosecha mecánica). En 2016, dos plantas en Brasil ya empleaban tecnologías de segunda generación, utilizando el bagazo y/o la paja en la producción de etanol de segunda generación o etanol 2G.

### 6.5.1.1 Política nacional de producción

En gran parte del siglo XX, el gobierno de Brasil ha ejercido un fuerte control sobre las actividades de la agroindustria cañera. Creado en 1933, el Instituto de Azúcar y Alcohol (IAA) fue responsable por casi seis décadas (1933 a 1990) de regulación del mercado interno a través de la fijación de precios, la definición de cuotas de producción y de exportación, y la asistencia técnica y financiera a los ingenios. Desde 1931, el gobierno de Brasil ha establecido un porcentaje de mezcla de etanol anhidro a la gasolina que es obligatoria en todo el país (el primer porcentaje fue del 5%, y en 2016 fue del 27%). Pero fue en 1975 que el etanol combustible tuvo un gran impulso en Brasil con el lanzamiento del Pró-Álcool, cuyo objetivo era dar destino a los excedentes de azúcar y reducir las importaciones de gasolina, pues el precio de la gasolina se elevó en el mercado internacional debido a la primera crisis del petróleo. En 1979, la segunda crisis del petróleo condujo a una segunda fase de Pró-Álcool, en la que se introdujo etanol hidratado como combustible autónomo en el mercado brasileño.

Durante la década de 1990, tuvo lugar un proceso de reducción de la intervención estatal en la economía brasileña, lo que estaba en alineamiento con el concepto de Estado

establecido por la Constitución de 1988 (de un Estado con un papel más regulador que intervencionista). La agroindustria cañera no fue una excepción, y el gobierno brasileño comenzó una liberalización gradual del sector, incluyendo la extinción del IAA en 1990 y el fin del control estatal sobre los precios de los principales productos de la agroindustria cañera en 1999. Varias agencias gubernamentales fueron creadas en esta década con el fin de consolidar el papel regulador del Estado, entre los cuales están directamente relacionados con la agroindustria cañera: el Consejo Nacional de Política Energética (CNPE), la Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (ANP) y el Consejo Interministerial de Azúcar y Alcohol (CIMA), todos creados en 1997. CIMA tiene como objetivo decidir sobre las políticas relacionadas con las actividades de este sector, y desde 1999 está vinculado al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA). Desde entonces, el MAPA se encarga de la regulación y supervisión de los ingenios sucroenergéticos y sus productos, incluyendo la fijación del porcentaje de mezcla de etanol anhidro a ser practicada en el país.

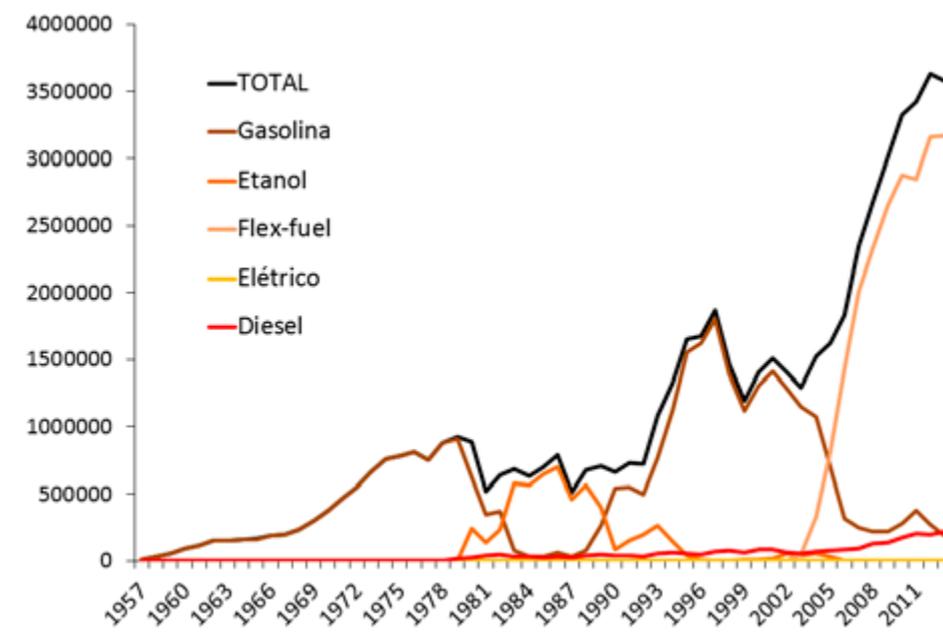
Un nuevo marco regulador de combustible de etanol fue establecido en 2011 por la Ley n° 12.490/2011, en la cual se transfirió del MAPA a la ANP la supervisión y la regulación de la cadena de producción de etanol (Brasil, 2011). Desde entonces, los principales productos de las plantas azucareras energéticas están regulados por tres agencias federales diferentes: el azúcar continuó bajo la regulación del MAPA, el etanol pasó a la custodia de la ANP, y la bioelectricidad está bajo la regulación de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). Cabe señalar que la ANP ya era responsable desde 2005 de diversas actividades relacionadas con los biocombustibles, incluyendo la definición de las especificaciones del combustible de etanol de Brasil, cuya versión más reciente está contenida en la Resolución ANP n° 9/2015 (Brasil, 2015). Por lo tanto, en la actualidad la agroindustria cañera opera en gran medida en un ambiente de competencia libre bajo la regulación y la supervisión de un número de agencias gubernamentales. Sin embargo, los representantes del sector sucroenergético se quejan de la falta de una política pública por parte del gobierno que sea más clara, consistente y de largo plazo.

### 6.5.1.2 Mercado

El etanol combustible de Brasil tiene su principal mercado dentro del propio país. El mercado de motores de ciclo Otto es donde se concentra la mayor parte del consumo de etanol en Brasil, que desde 2003 ha estado dominado cada vez más por los vehículos *flex-fuel* (Figura 129). Los vehículos *flex-fuel* son aquellos capaces de trabajar con mezclas de gasolina y etanol en cualquier proporción (Kamimura y Sauer, 2008; Stattman *et al.*, 2013). La tecnología *flex-fuel* ha dado flexibilidad a los usuarios finales: el propietario de un vehículo *flex-fuel* ejerce su poder de elección entre etanol hidratado y gasolina C (gasolina mezclada con etanol anhidro) en cada recarga de combustible, y no sólo en la hora de comprar su vehículo. De este modo, el etanol hidratado y la gasolina C se han convertido en competidores directos en las estaciones

de servicio brasileñas, pero debido a su poder calorífico inferior, se considera que la competitividad del etanol hidratado depende de que su precio no exceda del 70% del precio aplicado a un volumen equivalente de gasolina C (Altieri, 2012).

Figura 129. Concesión de licencias a vehículos ligeros de motor en Brasil entre 1957 y 2013 calculado en número de unidades por año (los vehículos ligeros de motor corresponden a la suma de los automóviles y de los vehículos comerciales ligeros).

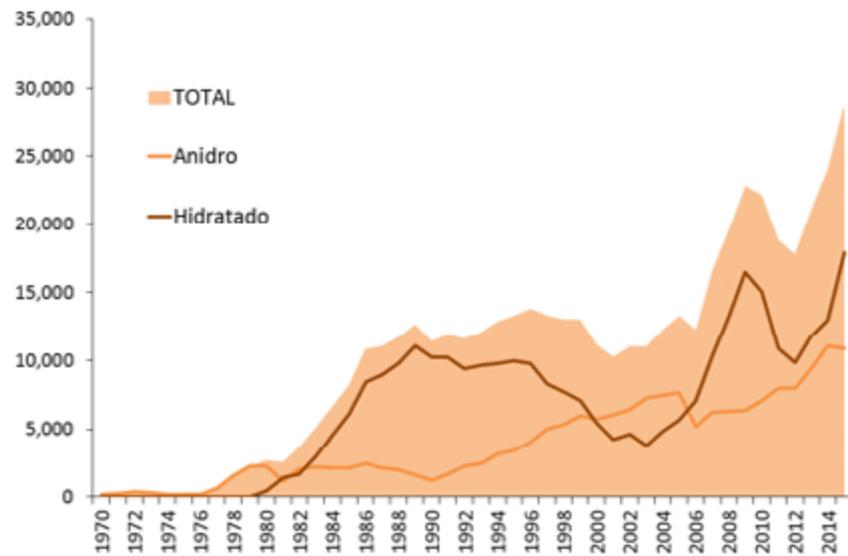


Fuente: (ANFAVEA, 2014).

Por lo tanto, la competitividad relativa entre el etanol hidratado y la gasolina C ha sido una variable importante en el rendimiento de etanol combustible en el mercado interno. Desde 1997, Petrobras ya no ejerce oficialmente un monopolio en el sector de petróleo y gas en Brasil, pero el Estado todavía controla casi la totalidad de la capacidad de refinación del país, de forma que el gobierno, si interviene, puede determinar el precio de la gasolina que se vende por las refinерías de modo no enlazado en el precio del mercado internacional. De hecho, el gobierno ha ejercido en los últimos años ese control sobre el precio de la gasolina en el mercado interno, principalmente para fines de control de la inflación, y esto dio lugar a un período durante la primera década de este siglo en que el etanol hidratado perdió competitividad frente a la gasolina C en las estaciones de servicio (Angelo, 2012). La pérdida de competitividad

durante este periodo se reflejó en una fuerte caída en los volúmenes de venta de etanol hidratado, así como en el crecimiento en las ventas de etanol anhidro, pues los volúmenes de venta del último son proporcionales a las ventas de gasolina C (Figura 130).

Figura 130. Consumo de etanol combustible en Brasil calculado en millones de litros entre 1970 y 2015.



Fuente: (MAPA, 2013a, ANP, 2016).

También hay que tener en cuenta que el precio del etanol varía ampliamente entre los diferentes estados del país, y el etanol hidratado, por lo general, mantuvo una ventaja económica si se compara con la gasolina C en aquellos estados que son grandes polos productores de caña de azúcar y de etanol (como São Paulo y Goiás, por ejemplo).

Brasil es también probablemente el líder mundial en el uso de etanol como sustituto de la gasolina de aviación (AvGas) (Cremonez *et al.*, 2015b). En octubre de 2004, Embraer certificó en Brasil el primer modelo movido a etanol hidratado: la variante EMB 202A del avión agrícola Ipanema (Embraer, 2004). Además, la compañía también vende kits de conversión al etanol a los propietarios de aviones Ipanema movidos a AvGas. El EMB 202A siguió siendo el único modelo vendido en el mundo propulsado por etanol hasta 2014, cuando 269 aviones y 205 kits de conversión vendidos resultaran en un total de 474 aeronaves propulsadas por etanol en un universo de poco más de 2 mil aviones agrícolas en Brasil (Araújo, 2014; Embraer, 2014). Sin embargo, la baja densidad de energía de etanol hace que su uso esté limitado al nicho

de los aviones ligeros con motores de ciclo Otto, sin viabilidad técnico-económica de usarlo en aviones más grandes, que están equipados con turbinas de gas.

Además del mercado nacional, el fomento de la producción y el uso de alternativas a los combustibles fósiles por cuestiones ambientales en otros países han abierto nuevas perspectivas de exportación de etanol brasileño. Varios estudios han llegado a la conclusión de que el etanol de caña producido en Brasil tiene varias ventajas en términos económicos y ambientales, en comparación con la gasolina y otros biocombustibles, como el etanol de maíz producido en los Estados Unidos (Leite *et al.*, 2009; Luo *et al.*, 2009; Seabra *et al.*, 2011; Andreoli *et al.*, 2012; Azadi *et al.*, 2012; Cavalett *et al.*, 2013; Rocha *et al.*, 2014). Esta ventaja comparativa de la caña de azúcar brasileña y la madurez técnica y económica de la agroindustria cañera han permitido la exportación hacia algunos de los países que han establecido objetivos de mezcla de etanol sin que sus respectivas producciones nacionales sean capaces de satisfacer esa demanda (ISO, 2012b).

Un caso ilustrativo es la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, que ha reconocido que el etanol de caña producido en Brasil cumple con los requisitos de la Norma de Combustibles Renovables (RFS) para ser clasificado como un biocombustible avanzado, ya que reduce hasta en un 91% la emisión de gases de efecto invernadero en comparación con la gasolina. Sin embargo, a pesar del gran aumento en el volumen de las exportaciones de etanol de Brasil en el siglo XXI, el mercado internacional de etanol es bastante volátil, siendo fuertemente influenciado por el dinamismo de la economía mundial, el tipo de cambio, las barreras arancelarias por parte de los mercados de importación y los precios del petróleo (NovaCana, 2016). Por lo tanto, la demanda internacional de etanol brasileño varía considerablemente dependiendo de estos factores.

### 6.5.1.3 Avances y retos

Se espera que los combustibles líquidos continúen siendo los principales vectores de energía en el sector de transportes de Brasil. El Plan Decenal de Expansión de Energía de 2023 establece que el transporte por carreteras seguirá predominante en el país, y se espera que la flota total de vehículos en Brasil crezca cerca de un 70% en una década, de 38 millones en 2013 a 64 millones en 2023 (EPE, 2014a). Durante este mismo período, se prevé que los vehículos con motores de combustión interna seguirán constituyendo la inmensa mayoría de la flota nacional, y las ganancias en eficiencia energética no serán suficientes para compensar el crecimiento de la flota y evitar un aumento significativo (~40%) en el consumo anual de combustibles líquidos (EPE, 2014). En este escenario, el etanol debe seguir representando el biocombustible más importante en Brasil y la principal alternativa a la gasolina en Brasil. Esta proyección se basa tanto en la creciente participación de los vehículos *flex-fuel* en la flota nacional de ciclo Otto, como en la mantención del mandato de mezcla de etanol anhidro a la gasolina.

No obstante, estos resultados deben ser evaluados a la luz de dos cuestiones. La agroindustria cañera seguirá como buque insignia de la producción de etanol, y la primera pregunta que debe considerarse es el aumento de los costos de producción y la disminución de la productividad que se ha observado en el sector. La superación de estos obstáculos es un gran desafío para la agroindustria cañera si se pretende aumentar la participación del etanol de caña en la matriz energética brasileña y mundial. La segunda pregunta es si es factible incrementar la producción y el uso de etanol a un nivel que sea capaz de satisfacer una parte significativa de la demanda total de combustibles líquidos. En 2014, el etanol representó el 34% del consumo de combustible en los vehículos ligeros en Brasil (EPE, 2015), y los planes para aumentar considerablemente este porcentaje deben indicar cómo se manejará los potenciales impactos ambientales derivados de un aumento en la escala de producción.

Brasil experimenta una situación particularmente sensible en este contexto por dos razones. En primer lugar, aún se enfrenta a problemas relacionados con la vulnerabilidad social de los pequeños agricultores y con el incumplimiento de las leyes laborales en el sector agrícola, aunque se han observado mejorías en los últimos años (Phillips y Sakamoto, 2012; Coslovsky, 2014). Y en segundo lugar, hay tres biomas presentes en Brasil (la Amazonia, el Cerrado y la Mata Atlántica) que poseen una reconocida y vasta biodiversidad, y los tres ya están sufriendo de problemas de degradación ambiental. Cabe mencionar que gran parte del Cerrado se encuentra en la región Centro-Oeste, que es la principal frontera agrícola de expansión de la caña de azúcar (Janssen *et al.*, 2011).

A pesar de la enorme complejidad del tema, se puede decir que, en general, la mayoría de las críticas a los biocombustibles líquidos ha girado en torno a tres temas principales. El primer tema es la competencia entre la producción de biocombustibles y la producción de alimentos por los mismos recursos limitados (por ejemplo, tierra cultivable, agua dulce e insumos agrícolas) (Giampietro y Bukkens, 2012; Pimentel, 2012). El segundo tema es la contribución efectiva de los biocombustibles líquidos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles (Fargione *et al.*, 2008; Davis *et al.*, 2009). En el caso de la caña de azúcar, la preocupación principal se da en relación con la deuda de carbono que puede resultar de los cambios directos e indirectos en el uso de la tierra (DeCicco, 2015). Por último, el tercer tema es la cantidad de energía útil en forma de etanol que se puede ofrecer de manera sostenible en comparación con el consumo proyectado de energía para el mercado de ciclo Otto (Smil, 2010). Si hay un déficit muy grande entre esta oferta y esta demanda, toma fuerza el argumento de que el etanol sólo contribuye a retrasar la descarbonización efectiva del sector del transporte, que se lograría mediante la sustitución de los vehículos con motores de combustión interna por vehículos motorizados movidos a otras fuentes de energía (por ejemplo, electricidad).

Algunos expertos han argumentado que hay suficiente tierra en Brasil para aumentar la producción de biocombustibles líquidos sin perjudicar la producción de alimentos y poner en peligro la conservación ambiental, especialmente cuando se con-

sidera la intensificación de la ganadería que ha estado ocurriendo en Brasil (Leal *et al.*, 2013c; Nogueira y Capaz, 2013; Nogueira *et al.*, 2013; Goldemberg *et al.*, 2014). Por otro lado, los críticos señalan que la expansión de la superficie plantada de caña de azúcar provocará de manera directa e indirecta la conversión de ecosistemas naturales en el Cerrado y la Amazonia (Fargione *et al.*, 2008; Lapola *et al.*, 2010). Sin embargo, la producción de caña de azúcar está invariablemente vinculada con la cuestión más amplia de la intensificación sostenible de la agricultura (Tilman *et al.*, 2011; Norse, 2012).

#### 6.5.1.3.1 Etanol de primera generación

El etanol 1G de caña es aquel que se produce tradicionalmente mediante la fermentación de azúcares fermentables (sacarosa y sus dos monómeros constituyentes: fructosa y glucosa) que están presentes en altas concentraciones en el jugo extraído de los tallos de la caña de azúcar. A pesar de las expectativas de un aumento del consumo y de la producción del etanol 1G, se vislumbran dos grandes retos en un futuro próximo para mejorar la competitividad de este tipo de etanol en Brasil. La primera es para revertir el incremento de los costos de producción que se ha observado en los últimos años debido al aumento de costos de la tierra, insumos, mano de obra y otros aspectos agroindustriales. El segundo reto son las adaptaciones ya en curso que han sido necesarias debido a la eliminación de la cosecha manual de la caña quemada y su reemplazo por la cosecha mecanizada de la caña en bruto.

#### 6.5.1.3.2 Etanol de segunda generación

Los biocombustibles 2G son los producidos a partir de fracciones lignocelulósicas de la biomasa, y han atraído gran interés internacional en el siglo XXI (DOE, 2006; Gnansounou, 2010). Se argumenta que la tecnología 2G permitirá el uso de materias primas más baratas, abundantes y no alimentarias, y esto reduciría la competencia entre biocombustibles y la producción de alimentos por recursos cada vez más escasos (tierra cultivable, agua dulce e insumos agrícolas). Por lo tanto, los biocombustibles 2G no se enfrentarían a algunas de las críticas dirigidas a los biocombustibles 1G (ej., Giampietro y Mayumi, 2009; Giampietro y Bukkens, 2012), los cuales se producen a partir de materias primas alimentarias (es decir, azúcares, granos amiláceos y aceites vegetales).

Brasil tiene excelentes condiciones para convertirse en un importante productor de etanol 2G, pues el bagazo y la paja de caña de azúcar son materias primas con excelente potencial para su producción. El bagazo se genera en la prensa del tallo, por lo que se encuentra fácilmente disponible en los ingenios. Por el contrario, la paja debe ser transportada desde el campo hasta el ingenio para ser utilizada, y las dos alternativas que se contemplan para lograr este transporte son: (1) la cosecha sólo de los tallos – como se hace actualmente – y posteriormente se sujeta, se empaca y se transporta las

pacas de paja, y (2) la cosecha conjunta de los tallos y de la paja para la separación posterior en el ingenio (Leal *et al.*, 2013b). Más de una institución ya está llevando a cabo la I+D en búsqueda de un método económico de cosecha de la paja, y se espera que la paja con el tiempo se convierta en una importante fuente de materia prima lignocelulósica en el contexto de los ingenios sucroenergéticos. Se debe considerar que parece ser importante dejar en el campo una porción de la paja para mantener la calidad del suelo, y por lo tanto no será factible recoger cien por ciento de la paja en el campo.

Con el fin de impulsar el desarrollo del etanol 2G, el gobierno brasileño puso en marcha a principios de 2010 el Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología del Bioetanol (CTBE): un centro de I+D, con sede en Campinas-SP, que tiene una planta piloto semi-comercial (capacidad de 300 litros) (CTBE, 2014). El CTC también tiene una planta piloto de etanol 2G en su ingenio de Piracicaba-SP (capacidad de 1.000 litros), y se prevé la apertura de una planta en escala demostrativa en asociación con la Usina São Manoel (CTC, 2014). En cuanto a la escala comercial, hay cuatro empresas que han anunciado planes para la construcción de plantas de etanol 2G en el país – GranBio, Raízen Energia, Odebrecht Agroindustrial y Petrobras – las dos primeras ya han comenzado su producción (todas se basan en la conversión de bagazo y/o paja de caña). El ingenio de GranBio en São Miguel dos Campos-AL costó US\$ 190 millones (más US\$ 75 millones del sistema de cogeneración), tiene una capacidad instalada de 82 millones de litros por año, y comenzó la producción a partir de bagazo y paja de caña de azúcar en septiembre de 2014 (GranBio, 2014). El ingenio de Raízen, en colaboración con la canadiense Iogen, está situado junto a la Usina Costa Pinto en Piracicaba-SP, costó US\$ 100 millones, tiene una capacidad instalada de 40 millones de litros por año, y comenzó la producción a partir del bagazo de caña de azúcar en diciembre de 2014 (Raizen, 2014).

Es importante reconocer que el etanol 2G debe competir por inversiones y materias primas con la bioelectricidad. En la actualidad, casi todo el bagazo generado en Brasil se utiliza en la cogeneración, pero la eliminación en curso de las quemadas en los cañaverales para la cosecha manual abrió la oportunidad para la recolección de la paja. Por otro lado, existe la posibilidad de que la paja recogida sea destinada a la cogeneración, en caso de que se considere que la bioelectricidad sea más ventajosa que el etanol 2G. Por lo tanto, es probable que algunas plantas de etanol 1G se enfrenten con el dilema entre invertir en equipos más eficientes de cogeneración o instalar una unidad de etanol 2G. En cualquier caso, se espera que la demanda de biomasa lignocelulósica aumente en Brasil, y la caña de azúcar es un cultivo con excelente potencial para proporcionar este tipo de materia prima.

El concepto de caña energía es una opción con potencial para aumentar el suministro de biomasa lignocelulósica mientras que se aprovecha la madurez del complejo industrial cañero (Jackson, 2013; Leal *et al.*, 2013; Botha y Moore, 2014). El mejoramiento genético de la caña de azúcar tuvo tradicionalmente como objetivo principal aumentar la productividad en términos de azúcares solubles, mientras que la caña energía se refiere a aquellas líneas seleccionadas para el aumento de la productividad en

términos de bioenergía (Carvalho-Neto *et al.*, 2014; Matsuoka *et al.*, 2014). Los expertos clasifican la caña energía en tipo I (seleccionada y cultivada para maximizar simultáneamente los azúcares solubles y la biomasa lignocelulósica) y tipo II (seleccionada y cultivada para maximizar de manera prioritaria o exclusiva la biomasa lignocelulósica) (Tew y Cobill, 2008). El mejoramiento genético de la caña energía explora el mismo patrimonio genético que la caña de azúcar, con la diferencia de que se pone menos énfasis en el material genético de la caña de azúcar noble (*S. officinarum*) y más énfasis en el material de otras especies genéticas del complejo *Saccharum* (es decir, otras especies del género *Saccharum*, así como de los géneros *Erianthus*, *Miscanthus*, *Narenga* y *Sclerostachya*) (Guimarães y Sobral, 1998; Amalraj y Balasundaram, 2006).

El mejoramiento genético con objetivo de generar cultivares de caña energía ya ha ocurrido en el pasado o aún está en marcha en algunas otras partes del mundo (sur de los Estados Unidos, Isla de Reunión, Mauricio y Barbados), pero comenzó sólo hace unos años en Brasil en los tres programas de mejoramiento activos en el país (RIDESA, CTC y IAC) y en dos empresas: GranBio y Vignis. La GranBio inauguró una estación experimental en mayo del 2013 para desarrollar variedades de caña energía Cana Vertix® en colaboración con IAC y RIDESA, y ya registró dos cultivares: Vertix 1 y Vertix 2 (GranBio, 2015). Además, la compañía Vignis, fundada en el 2011 por dos profesionales que han participado en la creación de CanaVialis, conduce un programa de mejoramiento exclusivo para la caña energía (Vignis, 2014). La compañía no ha lanzado ninguna cultivar comercial, pero tiene un esquema de negocio en que la Vignis (1) selecciona y arrienda una tierra cercana a la planta del cliente; (2) ejecuta la siembra, la cosecha y la transformación de sus líneas de caña energía; y (3) entrega la biomasa «en la puerta» de la planta donde será transformada. Vignis ya tiene firmado contratos en esos términos con Odebrecht Agroindustrial y Raízen Energia.

La caña energía es interesante tanto para la producción de etanol 2G como para la cogeneración. Sin embargo, existen criterios de selección para el mejoramiento genético que son distintos conforme se desee líneas optimizadas para la producción de etanol 2G por vía de fermentación (mayor contenido de celulosa y hemicelulosa) o para la cogeneración y/o la producción de etanol 2G por vía termoquímica (mayor contenido de lignina) (Tanger *et al.*, 2013). Independientemente de cuál de estas líneas tendrá la prioridad, la futura viabilidad técnico-económica de la caña energía requerirá innovaciones en las etapas de recolección y transformación industrial, las cuales difieren en aspectos importantes de la caña de azúcar.

Otras gramíneas energéticas, tales como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach), el sorgo biomasa (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), el miscanthus (*Miscanthus* spp.) y el pasto varilla (*Panicum virgatum* L.), así como árboles energéticos, como el eucalipto (*Eucalyptus* spp.), también tienen potencial de conversión por tecnologías 2G y/o cogeneración en Brasil, y algunas de estas especies ya son objeto de I+D con estos propósitos en mente.

Además del etanol 2G, la caña de azúcar también ha servido como materia prima para la producción de biocombustibles *drop-in* (es decir, aquellos que son compatibles con la infraestructura y los vehículos diseñados para el uso de combustibles fósiles). Amyris es la compañía más avanzada en esta línea, pues en 2012 comenzó a producir en su planta de Brotas-SP tanto el Diesel de Cana™ (un tipo de diésel renovable) como un bioqueroseno de aviación del tipo SIP (*synthesized iso-paraffin*). Estos dos biocombustibles (uno para motores de ciclo Diesel, y otro para los aviones con motores a reacción) se obtienen por hidrogenación de farneseno al farnesano (ambos compuestos con 15 átomos de carbono), en el que la primera molécula es producida por fermentación del azúcar de caña por levaduras genéticamente modificadas (Oliveira, 2008; Moreira *et al.*, 2014). Butamax Advanced Biofuels (una empresa conjunta de BP y DuPont) abrió en noviembre del 2010 el Laboratorio de Tecnología de Butanol en la ciudad de Paulínia-SP, cuyo objetivo es acelerar la comercialización de la producción de biobutanol a partir de caña de azúcar. El biobutanol (cuatro isómeros de fórmula química C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH) es un biocombustible *drop-in* que puede mezclarse con gasolina o utilizarse como combustible independiente en motores de ciclo Otto diseñados para el uso de gasolina (Dürre, 2007).

### 6.5.2 Producción de polímeros biodegradables

El etanol puede utilizarse como materia prima para la fabricación de productos químicos de mayor valor añadido, dentro de la rama de la industria química llamada de alcoholquímica (CGEE, 2010a; Arruda, 2011; Mikkola *et al.*, 2015). La fabricación de productos de mayor valor añadido, sea por la alcoholquímica o por otras rutas, está alineado con el concepto de biorrefinería. La biorrefinería se basa en un esquema de producción que aprovecha las diferentes fracciones de la biomasa (además de los lípidos, del almidón y de la sacarosa) para generar diferentes corrientes y productos (Vanholme *et al.*, 2013). De acuerdo con este concepto, los biocombustibles líquidos deben figurar en un conjunto de varios productos derivados de la biomasa, incluyendo los biopolímeros (Ragauskas *et al.*, 2006; Roddy, 2013). De hecho, como ya ocurre en las refinerías de petróleo, se espera que la mayor parte del beneficio de las futuras biorrefinerías provenga de la comercialización de esos otros bioproductos, en vista del bajo valor añadido de los biocombustibles líquidos (Morris, 2005).

#### 6.5.2.1 Política nacional de producción

Brasil no tiene una política nacional estructurada para regular y promover la producción de biopolímeros, por lo que las iniciativas relativas a estos productos en el país han sido motivadas principalmente por la competitividad económica de la caña de azúcar como materia prima, el *eco marketing* y las perspectivas de exportación a

los países desarrollados. Sin embargo, algunos de los organismos gubernamentales de fomento han proporcionado fondos para I+D y para la creación de nuevas empresas que buscan producir biopolímeros.

#### 6.5.2.2 Mercado

La alcoholquímica brasileña ha enfrentado períodos de altibajos entre los años 1940 y 1980, después de que fue casi completamente eclipsada por el crecimiento de la industria petroquímica en el país. La compañía francesa Rhodia es una de las pocas que ha permanecido continuamente activa en la rama de la alcoholquímica en Brasil, produciendo solventes a partir del etanol de caña desde 1944, en su planta de Paulínia-SP (Rhodia, 2008).

En 2007, cuando los biocombustibles en general y el etanol brasileño en particular estaban en boga, tres grandes empresas anunciaron inversiones en la producción de biopolímeros a partir de caña de azúcar en Brasil (Szwarc, 2011). La empresa norteamericana Dow Chemical tenía la intención de instalar una unidad en Santa Vitória-MG para la producción de 350 mil toneladas de polietileno al año; y la empresa belga Solvay planeaba una unidad en Santo André-SP para la fabricación de 60 mil toneladas de etileno al año, destinadas a la producción de polivinilo de cloruro (PVC). Estos dos proyectos fueron interrumpidos debido a la crisis financiera de 2007 a 2008. Sólo Braskem materializó sus planes relacionados con la alcoholquímica: su planta de etileno verde fue inaugurada en septiembre de 2010 en el Polo Petroquímico de Triunfo-RS, la cual está en funcionamiento y tiene una capacidad para producir anualmente 200 mil toneladas de polietileno verde Dm green™ (Braskem, 2013). En 2011, Dow Chemical anunció la reanudación de su proyecto de polietileno verde en conjunto con la empresa japonesa Matsui, pero en 2013 el proyecto fue nuevamente aplazado (NovaCana, 2013).

#### 6.5.2.3 Avances y retos

La fabricación de productos químicos a partir de biomasa puede llevarse a cabo a través de dos enfoques diferentes (Vennestrom *et al.*, 2011). El primero se llama estrategia *drop-in* y se caracteriza por la conversión de biomasa en un intermedio que ya se utiliza en la industria química, tal como la conversión de etanol en etileno utilizada por Braskem para producir su polietileno verde. El desafío de este enfoque es desarrollar un proceso de fabricación para obtener un producto final pre-determinado, que deberá competir en un inicio con su equivalente fósil. En este caso, el producto entra en un mercado maduro, y gran parte de la tecnología y de la infraestructura ya existe y se puede utilizar sin necesidad de ajustes.

El segundo enfoque es la estrategia emergente, la cual consiste en el desarrollo de una nueva cadena de producción dirigida a nuevos productos. La ventaja de

esta estrategia es la posibilidad de explotar mejor las características de las moléculas utilizadas como materia prima en el proceso de producción, pues no es necesario dirigirse a un producto final que sea igual a un equivalente fósil. Por otra parte, los nuevos mercados necesitan ser abiertos en esta estrategia, y es necesario desarrollar tecnologías e infraestructura sin precedentes, o modificar drásticamente las existentes. Por lo tanto, esta estrategia requiere una mayor inversión inicial y un compromiso de más largo plazo en comparación con la estrategia *drop-in*.

En la actualidad, sólo el etanol procedente de la fermentación de los azúcares de caña se ha utilizado como materia prima para la producción de biopolímeros. Sin embargo, el desarrollo de las tecnologías 2G permite la conversión de otras fracciones de biomasa, tales como celulosa, hemicelulosa y lignina que componen la lignocelulosa, abundante en la paja y el bagazo de la caña de azúcar. Los desafíos tecnológicos y económicos que permitan el funcionamiento de ese tipo de biomoléculas son grandes, así también el desarrollo de procesos de fabricación de bioproductos químicos que no son idénticos a sus equivalentes fósiles (Sanford *et al.*, 2016). Sin embargo, el excelente rendimiento de la caña de azúcar y las expectativas con relación a la caña energía hacen a este cultivo un excelente candidato de obtención de materia prima para el futuro de las biorrefinerías en Brasil.

En contraste con algunos países desarrollados, donde los esfuerzos para reducir la dependencia de los recursos fósiles y las preocupaciones relacionadas con el medio ambiente han motivado las políticas públicas dirigidas a sustituir los productos petroquímicos por bioproductos, en Brasil no existe una política pública en este sentido. Así que otro reto en este segmento es la adopción de una política pública por parte del Gobierno brasileño que promueva la producción y uso de bioproductos en el país.

## 6.6 Manejo de subproductos derivados del proceso de producción de azúcar

### Bagazo y bioelectricidad

El bagazo es un subproducto que resulta de la prensa de los tallos para obtenerse el jugo de caña. El bagazo recién salido de la prensa es constituido por aproximadamente 50% de humedad, pero su masa seca es rica en fibra y tiene un alto valor calórico. Por lo tanto, el bagazo es sometido a hornos de combustión con el propósito de calentar calderas para generación de vapor. Los procesos industriales modernos de producción de azúcar y etanol consumen energía térmica, mecánica y eléctrica, y la cogeneración a partir del bagazo es capaz de satisfacer toda la demanda de energía en un ingenio moderno (Leal y Macedo, 2004).

Sin embargo, hasta la década de 1980, los ingenios consideraban el bagazo más como una molestia que como una fuente de energía e ingresos. En aquel momento, el equipo predominante en los ingenios tenían bajos niveles de eficiencia (por

ejemplo, las calderas generaban vapor a 22 bar y 300 °C; turbinas de vapor de contrapresión), y el consumo de vapor en el proceso industrial era alto (por ejemplo, 500 kg t<sup>-1</sup> de caña). En esta configuración, todo el bagazo se quema para producir vapor de manera ineficiente, por lo que fue necesario el uso de la madera como combustible adicional y adquirir energía eléctrica con los distribuidores a fin de satisfacer la demanda energética de los ingenios (Leal *et al.*, 2013a).

Este punto de vista sobre el bagazo estuvo cambiando en las últimas décadas del siglo xx. Aunque el Decreto-Ley n° 1.872/1981 ha autorizado la venta de energía eléctrica por autoprodutores a los distribuidores (Brasil, 1981), lo que en realidad llevó a la implementación de mejoras en el balance de energía de los ingenios fue la búsqueda de autosuficiencia energética. Este cambio ocurrió en respuesta a los altos precios de la leña y de la electricidad. La modernización de los equipos (por ejemplo, calderas de generación de vapor a 65 bar y 480 °C; turbinas de vapor de condensación) y la reducción en el consumo de vapor (por ejemplo, 340 kg t<sup>-1</sup> de caña) hicieron del bagazo la única fuente de energía del sector sucroenergético de la década de 1990 en adelante (Leal y Macedo, 2004; Dantas *et al.*, 2013).

Varios sectores de la economía con una marcada presencia estatal fueron sometidos a una reestructuración profunda en la segunda mitad de la década de 1990, incluyendo el sector eléctrico. En 1995, se publicó la Ley n° 8.987/1995 (que dispone sobre el régimen de concesión y permisión para la prestación de servicios públicos; Brasil, 1995a) y la Ley n° 9.074/1995 (que estableció normas para la otorga y la extensión de las concesiones y permisos de servicios públicos; Brasil, 1995b). El sector eléctrico, en esa época 100% estatal, fue contemplado en esta reestructuración, y la función reguladora del Estado se plasmó en la Ley n° 9.427/1996, que creó la ANEEL con el papel de «regular y supervisar la producción, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica» (Brasil, 1996).

Estos cambios institucionales mejoraron las perspectivas para que los ingenios comercializaran bioelectricidad. La creación de la figura del productor independiente de energía (PIE) y el libre acceso a los sistemas de transmisión y distribución fueron clave para esta mejora, y varios ingenios comenzaron a centrarse en la producción de excedentes de energía eléctrica con el fin de comercializarlos junto a los distribuidores (Leal *et al.*, 2013). Sobre la base de este nuevo marco normativo, los nuevos ingenios (*greenfield*) pasaron a ser diseñados con equipos más eficientes de cogeneración, y algunos ingenios viejos (*brownfield*) fueron sometidos a procesos de reconversión (*retrofit*) para aumentar el rendimiento de sus sistemas de cogeneración. Se cree que la mejora de las tecnologías actuales puede llevar las calderas de generación de vapor a funcionar a 120 bar y 540 °C, y reducir el consumo de vapor a 300 kg t<sup>-1</sup> de caña procesada (Leal *et al.*, 2013a).

La Ley n° 10.848/2004 modificó el marco regulatorio del sector eléctrico brasileño e introdujo nuevas normas de comercialización de energía eléctrica (Brasil, 2004a).

Desde entonces, alrededor del 75% de la electricidad consumida en Brasil ha sido comercializada por medio del llamado Ambiente de Contratación Regulada (ACR), para lo cual se firman contratos entre fabricantes y distribuidores a través de subastas públicas. Estas subastas son organizadas por la Cámara de Comercio de Energía Eléctrica (CCEE), por delegación y bajo la coordinación de la ANEEL (o por la propia ANEEL, en el caso de las subastas de estructuración). El resto de la energía consumida en el país se comercializa a través del Ambiente de Contratación Libre (ACL), en lo cual los contratos son firmados por negociaciones bilaterales, directamente entre vendedores y compradores.

Los ingenios sucroenergéticos pueden participar en tres tipos de subastas. Las Subastas de Nueva Energía (LEN) están abiertas a las plantas (de varios tipos) que entrarán en operación comercial en tres o cinco años (A-3 y A-5, respectivamente). Las Subastas de Fuentes Alternativas (LFA) están restringidas a los parques eólicos, termoeléctricas a biomasa y Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHS). Y algunas ediciones de las Subastas de Energía de Reserva (LER) han sido exclusivas para las termoeléctricas a biomasa (como fue el caso de la primera subasta de este tipo, en 2008) (Hofsetz y Silva, 2012).

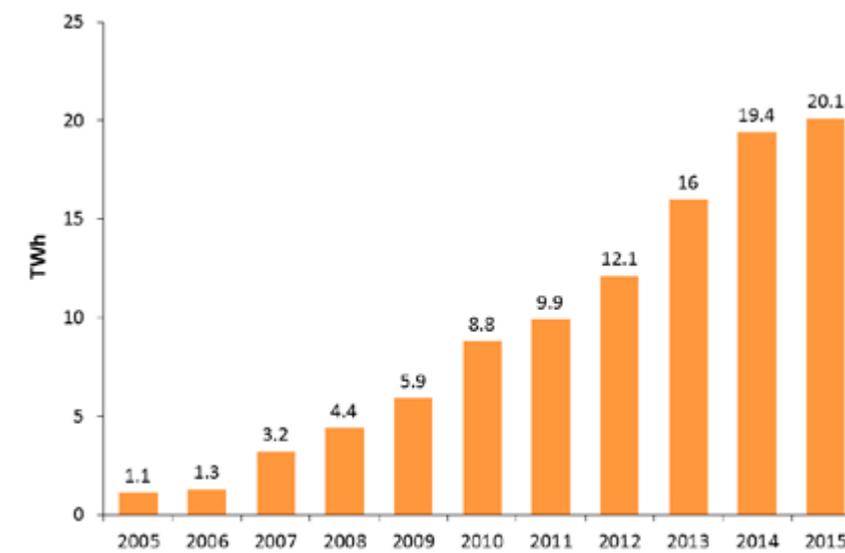
La bioelectricidad de caña de azúcar tiene ventajas estratégicas para el sistema eléctrico brasileño. La principal ventaja radica probablemente en que la temporada de zafra de caña de azúcar, en la región Centro-Sur, coincide con la época de sequía en esta región, la cual representa el 90% de la producción nacional de caña de azúcar y donde se concentran los más grandes centros de consumo de electricidad en el país (Nyko *et al.*, 2011). Por lo tanto, en los meses en que los embalses de las centrales hidroeléctricas están en sus niveles más bajos, los ingenios sucroenergéticos pueden suministrar electricidad cerca de los principales centros de consumo (Altieri, 2012). Por otra parte, la creciente adopción de la cosecha mecanizada desde el año 2000, abrió la posibilidad de recoger la paja del campo, que – como el bagazo – también puede ser destinada a la cogeneración (Leal *et al.*, 2013b).

El sector sucroenergético ha tenido un papel aún minoritario en el suministro de energía eléctrica desde que las nuevas normas de comercialización fueron impuestas. Todos los ingenios brasileños son autosuficientes en términos de energía, pero sólo un 20% de ellos tienen capacidad para exportar electricidad (Altieri, 2012). Aun así, la bioelectricidad ha contribuido a la generación de ingresos para los ingenios, principalmente en un contexto de crisis: el volumen financiero estimado de las ventas de bioelectricidad alcanzó los US\$ 894 millones en la cosecha 2013/2014 (Neves y Trombin, 2014).

En 2013, el suministro de bioelectricidad al sistema eléctrico nacional fue 1,720 MW, lo que representó el 7.5% de la potencia total otorgada por la ANEEL (Tabla 85). Por lo tanto, la biomasa de caña se posiciona como la tercera fuente de generación de energía eléctrica en términos de capacidad instalada, sólo por detrás de las centrales hidroeléctricas y de las termoeléctricas a gas natural. Desde 2013, el sector sucroenergético está generando más electricidad a la red que para el consumo propio de los ingenios: en 2014 esta distribución fue del 60% de energía a la red y el 40%

para el consumo propio. En 2015, el suministro de 20.1 twh a la red representó una reducción del 14% en el uso del volumen de agua en los embalses del submercado del sudeste/centro-oeste, atendió el consumo de 10.4 millones de hogares, y evitó la emisión de 8.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Figura 131).

Figura 131. Oferta de bioelectricidad a la red por el sector sucroenergético en Brasil entre 2005 y 2015.



Fuente: (UNICA, 2015).

Representantes de la industria argumentan que hay dos principales obstáculos para una mayor participación del sector sucroenergético en el suministro de electricidad: (1) la elevada inversión necesaria para modernizar los equipos de cogeneración y para conectarse a los sistemas de transmisión, y (2) la dificultad de obtener fondos para llevar a cabo estas inversiones (Nyko *et al.*, 2011). Además de estas barreras, los propietarios de las fábricas se quejan de que es necesario garantizar un trato justo en las subastas en contra de otras fuentes alternativas de energía: la energía eólica, en particular, ha gozado de ventajas fiscales en comparación con otras fuentes alternativas (Hofsetz y Silva, 2012).

Las opciones tecnológicas para lograr una cogeneración más eficiente ya despuntan en el horizonte. Si se superaran los obstáculos mencionados anteriormente, los sistemas de *Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine (BIG/GT)* pueden conferir un salto competitivo para la bioelectricidad a partir de biomasa de caña de azúcar. Estos sistemas se basan en las turbinas de gas, mucho más eficientes que las turbinas de vapor, pero requieren una etapa preliminar de gasificación de la biomasa (Dantas *et al.*, 2013). Otra opción es el *Biomass*

*Integrated Gasification/Gas Turbine Combined Cycle (BIG/GTCC)*, un tipo de sistema que acopla turbinas de vapor y gas: el calor de las turbinas de gas es utilizado para generar vapor, y ese vapor es dirigido a una turbina de vapor. De cualquier manera, probablemente será necesaria una reorientación de la política pública para el sector energético para que las inversiones en bioelectricidad se vuelvan más atractivas para los ingenios sucroenergéticos.

### 6.6.1 Melaza

La melaza es el principal subproducto de la producción de azúcar, y se produce a una proporción de 40 a 60 kg por tonelada de caña procesada. La melaza se compone principalmente de azúcares: 66% en peso, o 50% de sacarosa y 16% de azúcares reductores (glucosa y fructosa). Debido a este alto contenido de azúcares, la melaza se destina principalmente para fermentación por levaduras a fin de producir etanol (Brasil, 2013). Como alternativa, la melaza también se puede utilizar como materia prima en otros procesos biotecnológicos que generan productos de mayor valor añadido, tales como proteínas, alimentos para animales, levaduras prensadas para panificación, antibióticos y ácido láctico (Brasil, 2013).

### 6.6.2 Cachaza

La cachaza es la denominación típica y exclusiva del aguardiente de caña de azúcar producido en Brasil. Con un contenido de alcohol del 38% al 48%, la cachaza se produce utilizando como materia prima el mosto fermentado del jugo de caña de azúcar. En la actualidad, es el tercer destilado más consumido en el mundo y se produce en varias destilerías distribuidas en todo el territorio brasileño (Kist *et al.*, 2015).

La cachaza es una Indicación Geográfica de Brasil establecida por el Decreto n° 4.062/2001 y desarrollado con base el Acuerdo TRIPS/OMC (Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados al Comercio, en el ámbito de la Organización Mundial del Comercio) (IBRAC, 2015). Después de un periodo de 13 años de acuerdos y discusiones internas sobre el proceso de protección y reconocimiento internacional, la cachaza se encuentra en la recta final de la regulación de su denominación de origen, incluyendo la creación de un Consejo Regulador. De este modo, se crearán las condiciones necesarias para el inicio del proceso de protección y el reconocimiento de la cachaza en el mercado internacional (IBRAC, 2015). El primer país en reconocer la cachaza como un genuino destilado de Brasil fue Colombia en 2012, seguida por los Estados Unidos, y más recientemente por México.

Se estima que Brasil tiene una capacidad instalada de aproximadamente 1.2 millones de litros de cachaza al año, pero se producen anualmente menos de 800 millones de litros. El número de productores alcanza los 40 mil, de los cuales el 98% se compone de micro y pequeños empresarios. El sector genera alrededor de 600 mil

puestos de trabajo directos e indirectos en Brasil (IBRAC, 2015). En 2013, menos de 2 mil tiendas y cerca de 4 mil marcas se encontraban debidamente registradas en el MAPA y Receita Federal (la agencia tributaria de Brasil). Durante el 2012, el consumo interno de cachaza per cápita se situó en alrededor de 11.5 litros, teniendo en cuenta la población con edades comprendidas entre los 18 y los 59 años (Kist *et al.*, 2015).

En 2014, Brasil exportó cachaza a 66 países a través de 60 empresas exportadoras, lo que resultó en un volumen total de exportación de 10.18 millones de litros y US\$ 18.33 millones de ingresos (estos dos valores representaron un incremento de 10% en comparación con 2013). Los principales países de destino fueron (en términos de valor): Alemania, Estados Unidos, Francia, Portugal, Paraguay e Italia (Brasil, 2015). Las exportaciones de cachaza están por debajo del potencial de mercado, y se estima que sólo el 1% del volumen producido se exporta (Kist *et al.*, 2015).

Entre los principales estados brasileños productores de cachaza están São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais y Paraíba (Tabla 89). El principal estado exportador de cachaza es São Paulo, que es también el mayor centro productor y consumidor de la bebida.

Tabla 89. Principales estados brasileños exportadores de cachaza y valor de las exportaciones en 2014.

Estado	Volumen (US\$ millones)
São Paulo	8.24
Río de Janeiro	2.18
Minas Gerais	2.13
Pernambuco	2.01
Ceará	1.77
Paraná	1.12
Otros estados	0.86
Brasil	18.33

Fuente: (Brasil, 2015).

### 6.6.3 Vinaza

La vinaza es un subproducto líquido resultante de la etapa de destilación del etanol, generada en un promedio de 12 a 14 litros por litro de etanol producido. Su composición química es muy variable, debido principalmente al tipo de mosto utilizado en la fermentación para la producción de etanol (Christofoletti *et al.*, 2013).

La vinaza es rica en materia orgánica (principalmente en forma de ácidos orgánicos) y también tiene cantidades más pequeñas de minerales (especialmente potasio,

pero también calcio, magnesio y azufre). Siendo una suspensión de sólidos orgánicos minerales, la vinaza presenta una alta demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO): de estas características provienen su alto poder contaminante, además de presentar un bajo valor de pH y una alta corrosividad (Cordero *et al.*, 2009).

El aumento de la producción de etanol en Brasil a través de la implementación del Pró-Álcool causó un gran aumento en el volumen de vinaza producida. Inicialmente, la vinaza era lanzada en los cuerpos de agua, causando una gran mortandad de peces. Más tarde, esta práctica fue prohibida, y la vinaza pasó a ser lanzada en las denominadas áreas de sacrificio cerca de los ingenios. Esta práctica también genera grandes impactos ambientales negativos, como la contaminación del suelo y posiblemente la contaminación de las aguas subterráneas. Posteriormente, la vinaza comenzó a ser utilizada en fertirrigación (Rossetto *et al.*, 2008). La tecnología para el uso de la vinaza en forma de fertilizante fue prácticamente toda desarrollada en Brasil, pues no hay otro país que tenga que manejar un volumen tan elevado de vinaza, y actualmente es una tecnología muy utilizada entre los ingenios brasileños (Cordero *et al.*, 2009).

En general, la aplicación de la vinaza por fertirrigación promueve mejoras en la productividad de la caña de azúcar, además de contribuir a elevar el pH del suelo, mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos y enriquecer la microflora de los suelos, por lo tanto proporciona una nitrificación más eficiente y confiere un mayor índice de fertilidad. Sin embargo, la aplicación de vinaza en exceso puede causar cambios en la calidad de las materias primas para la industria, tales como la disminución de la calidad del jugo (Mutton *et al.*, 2009).

La recomendación para aplicar vinaza se realiza con base en los niveles de potasio presentes en el suelo. Las aplicaciones se realizan comúnmente en el área total de los cultivos, y se aplica en una cantidad de 2 a 3 veces la cantidad suministrada por un fertilizante mineral aplicado de forma localizada. El contenido de potasio presente en la vinaza varían en función del tipo de mosto de la siguiente manera: 1.47 kg m<sup>-3</sup> (jugo), 3.06 kg.m<sup>-3</sup> (mezcla) y 6.00 kg m<sup>-3</sup> (melaza) (Gloria y Orlando Filho, 1984).

Otras aplicaciones para la vinaza, además de la fertirrigación, son: la concentración por evaporación, el secado para alimentación animal, la fermentación aeróbica para producción de microorganismos unicelulares, y la fermentación anaeróbica para producción de gas metano (biogas).

## 6.7 El mercado de los edulcorantes diferentes al azúcar de caña

La ANVISA (Agencia Nacional de Vigilancia de la Salud) es la agencia del gobierno de Brasil vinculada al Ministerio de Salud que ejerce control sanitario sobre todos los productos y servicios sujetos a vigilancia sanitaria, y su Ordenanza n° 540/1997 define edulcorante como la «sustancia diferente al azúcar que le proporciona sabor dulce a la comida» (Brasil, 1997). La resolución RDC n° 18/2008

de ANVISA establece el Reglamento Técnico que autoriza el uso de edulcorantes en aditivos alimentarios y sus límites máximos, y este reglamento incluye edulcorantes de origen natural y artificial (Tabla 90) (Brasil, 2008).

Tabla 90. Edulcorantes permitidos por la legislación brasileña.

Edulcorantes naturales	Edulcorantes artificiales
Sorbitol	Acesulfamo de potasio
Manitol	Aspartamo
Isomalt	Ácido ciclámico (ciclamoto)
Esteviósido	Sacarina
Maltitol	Sucralosa
Lactitol	Neotamo
Xilitol	Taumatina
Eritritol	

Fuente: (Brasil, 2008).

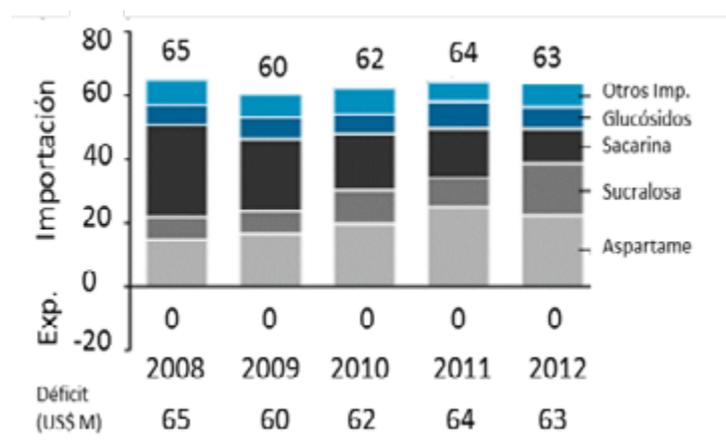
Hasta la década de 1980, los productos dietéticos fueron regulados en Brasil como medicamentos, por lo que su consumo sólo era permitido para aquellas personas que presentaban enfermedades que requirieran el control de la ingesta de sacarosa, tal como la diabetes mellitus (Toledo, 1995). De 1988 en adelante, los «productos elaborados a base de edulcorantes» se han registrado en la Dirección Nacional de Alimentos del Ministerio de Salud, por lo que el permiso de consumo se ha extendido a la población en general (MS/SVS, 1988). La Ordenanza n° 29/1998 del Ministerio de Salud estableció el Reglamento Técnico que fija la identidad y los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir los alimentos para fines especiales (que incluyen los alimentos para las dietas con restricción de carbohidratos), y la Ordenanza n° 38/1998 también del Ministerio de Salud hizo lo mismo con los edulcorantes de mesa (MS/SVS, 1998; MS/SVS, 1998).

El Decreto n° 6.871/2009 regula la estandarización, clasificación, registro, inspección, producción e inspección de las bebidas, y este Decreto fue modificado en 2015 para permitir «la fabricación de bebidas no alcohólicas, bajas en calorías, cuyo contenido de azúcares añadidos normalmente en la bebida convencional, sea parcialmente sustituido por edulcorantes bajos en calorías o sin calorías, natural o artificial, juntos o por separado» (Brasil, 2015). Antes de este cambio, la presencia simultánea de azúcares y edulcorantes en la misma bebida estaba prohibida, con la excepción de los preparados sólidos para refresco.

### 6.7.1 Producción

El mercado del azúcar y edulcorantes en Brasil creció un 8.2% en volumen y 40.9% en el valor de las ventas en 2009. En ese mismo año, los edulcorantes representaron el 0.18% del volumen y el 8% del mercado total de edulcorantes (mercado dominado por el azúcar). La producción de edulcorantes fue de 8.6 millones de toneladas en 2009, con un ingreso de US\$ 9 mil millones (ABIAD, 2011). Con relación a la balanza comercial, apenas se registraron importaciones de edulcorantes entre 2008 y 2012, sobre todo de aspartame, sucralosa, sacarina y glucósidos (Figura 132).

Figura 132. Balanza comercial de edulcorantes en Brasil en los años de 2008 a 2012.



Fuente: (Bain & Company, 2014).

El mercado de los edulcorantes no está muy concentrado en lo que respecta al número de fabricantes (las tres principales marcas tienen el 30.51% del volumen de ventas y el 48.19% de los ingresos), pero está poco diseminado en relación con el consumo (ABRAS, 2009).

### 6.7.2 Consumo

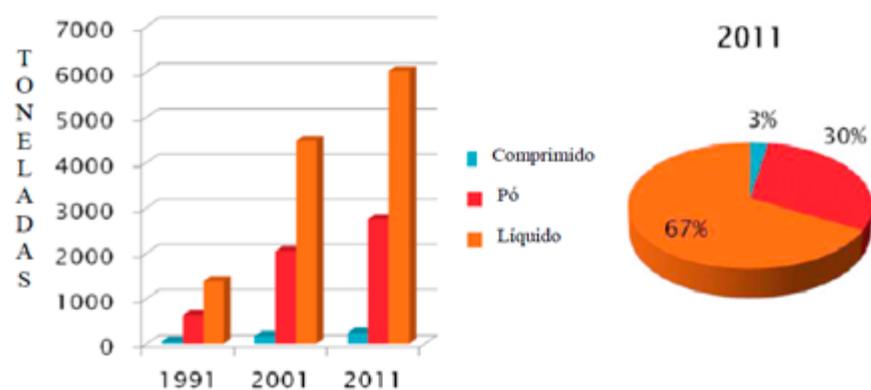
Para evaluar los cambios en el patrón de consumo de azúcar y edulcorantes en la población, es importante tener en cuenta que estos cambios están relacionados con un contexto más amplio de cambios en la dieta y estilo de vida como resultado de la industrialización, la urbanización, el desarrollo económico y la globalización económica (Philippi, 2014).

Brasil es uno de los mayores consumidores de azúcar a nivel mundial. Cada brasileño consume, en promedio, entre 51 y 55 kg de azúcar al año, mientras que el promedio mundial es de 21 kg per cápita al año (Brasil, 2007). Por un lado, el consumo directo per cápita de azúcar ha disminuido, por el otro, el consumo ha aumentado indirectamente a través de un mayor consumo de productos procesados. De 2002 a 2009, se observó una reducción del consumo de azúcar cristal de aproximadamente 35%, mientras que la disminución en el consumo de azúcar refinado en el mismo período fue de aproximadamente 49% (Souza *et al.*, 2013). Sin embargo, el azúcar que se consume indirectamente está aumentando sustancialmente como resultado de un mayor consumo de productos como dulces, chicles, jugos, pastas secas, salsas y, especialmente, mermeladas y conservas (Souza *et al.*, 2013).

En paralelo a estos cambios en el consumo de azúcar, también se ha visto un aumento gradual en el consumo por parte de los brasileños de productos *light* y *diet*. Según una encuesta realizada por LatinPanel a los consumidores en los diferentes estados, el 35% de los habitantes de dos ciudades analizadas consumen algún tipo de producto *light* o *diet*, de los cuales 47% consumen diariamente estos productos (ABIAD, 2011). En otro estudio realizado por Euromonitor, las ventas de productos más saludables (tales como bebidas y alimentos *light* o *diet*) crecieron 82%, de 2004 a 2009, alcanzando un nivel de R\$ 15 mil millones al año en el mercado brasileño.

En Brasil, prácticamente no hay estudios que proporcionen estimaciones confiables de la prevalencia del uso de edulcorantes por la población en general, pero hay cierta evidencia que sugiere un fuerte crecimiento en el consumo de estos productos en el mercado brasileño (Zanini *et al.*, 2011). Un estudio publicado en 2011 indica un aumento significativo en el mercado de edulcorantes en forma de tabletas, polvo y líquido entre 1991 y 2011, con un predominio de los edulcorantes líquidos de mesa (Figura 133) (ABIAD, 2011). Los límites de consumo diario permitidos para edulcorantes en Brasil se enumeran en la Tabla 91.

Figura 133. Volumen de edulcorantes en comprimidos, en polvo (Pó) y líquidos que se vendieron en Brasil en 1991, 2001 y 2011.



Fuente: (ABIAD, 2011).

Tabla 91. Límites permitidos de consumo diario de edulcorantes en Brasil.

Edulcorantes	Límites de consumo diario (mg/kg de peso corporal)
Ciclamato	11
Sacarina	5
Acesulfamo de potasio	15
Sucralosa	15
Poliolos	no especificado
Aspartamo	40
Estevisido	4

Fuente: (ABID, 2011).

Un estudio realizado en la ciudad de Pelotas, en el estado de Rio Grande do Sul, ofrece una visión de lo que puede ser el patrón más general de consumo de edulcorantes por los brasileños (Zanini *et al.*, 2011). En este estudio se encontró una prevalencia del 19% en el uso de edulcorantes entre las 2,732 personas entrevistadas, y se observó el porcentaje más alto en los ancianos, diabéticos, hipertensos y personas con sobrepeso. También había una preferencia por edulcorantes en forma líquida (98%) y a base de sacarina de sodio y de ciclamato de sodio (90%).

### 6.7.3 Impacto en el mercado del azúcar de caña

Todavía existen pocos estudios que muestran el efecto de los edulcorantes en el mercado del azúcar de caña. Como ya se ha discutido anteriormente, ha habido una reducción en el consumo directo per cápita de azúcar, mientras que hay un aumento en el consumo indirecto a través de productos transformados (Souza *et al.*, 2013). Por lo tanto, la disminución observada en el consumo de azúcar desde la década de 1970 no significa necesariamente una preocupación para la industria, ya que sigue habiendo consumo en el mercado interno en forma de productos procesados (Souza *et al.*, 2013).

Por otro lado, los cambios en los patrones de alimentación se consideran causas centrales del aumento en las tasas de obesidad y enfermedades crónicas en todo el mundo, y el aumento que ha ocurrido en las últimas décadas en cuanto al consumo de productos procesados que contienen azúcar ha recibido la atención de los formuladores de políticas públicas relacionadas a la salud y nutrición, y en consecuencia de todos aquellos que participan en la cadena de producción azucarera. Ya se ha observado un incremento en el consumo de productos *light* y *diet* (muchos de ellos contienen edulcorantes), pero esto no parece todavía haber afectado significativamente el consumo de azúcar, probablemente debido a la pequeña magnitud del volumen consumido de estos productos en contraposición al consumo de azúcar.

La creciente preocupación por el consumo excesivo de azúcar en los países industrializados puede cambiar este escenario en un futuro próximo. Por ejemplo, las empresas estadounidenses Coca-Cola Company, PepsiCo Inc. y Dr Pepper Snapple Group Inc. anunciaron en 2014 un compromiso voluntario para reducir en un 20% la cantidad de calorías consumidas por los estadounidenses para el año 2025 (Francella, 2014). Una de las iniciativas para cumplir con este objetivo es la inversión en edulcorantes naturales presentes en las hojas de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) (Goyal *et al.*, 2010). En este sentido, Cargill Inc. estableció en 2008 una asociación con Coca-Cola Company para producir y comercializar el edulcorante Truvia®, y se firmó una iniciativa similar entre PepsiCo Inc. y Merisant Company en relación con el edulcorante PureVia®.

La autorización de la sustitución parcial del azúcar por edulcorantes de acuerdo a los cambios en el Decreto n° 6.871/2009 en 2015 también pueden contribuir a esta tendencia de reducción en el consumo de azúcar de forma indirecta. Por ejemplo, la Coca-Cola Life es una versión del refresco tradicional con una etiqueta verde en la cual el 50% del azúcar se sustituye por edulcorantes de estevia, y cuya comercialización había sido prohibida en Brasil por el MAPA (Hoy en día, 2016). Con el cambio en la legislación, Coca-Cola anunció en 2016 que comenzará la comercialización de ese tipo de bebida en Brasil.

El aumento en el cultivo de estevia para la producción de edulcorantes en los países importadores de azúcar tiene el potencial de tener un impacto importante en el mercado internacional del azúcar. Por ejemplo, China es un gran importador de azúcar en

el mundo y el volumen importado ha crecido simultáneamente con el aumento de la renta per cápita de los chinos. Además, el gobierno chino ya está mostrando su preocupación por el aumento de la incidencia de la obesidad entre la población del país. La estevia ha surgido como una alternativa para reducir las importaciones y el consumo de azúcar en China: entre 2005 y 2010, se produjo una expansión de la superficie cultivada de 4.5 a 24.7 mil hectáreas, y en 2010 la producción alcanzó 96 mil toneladas, lo que corresponde a más de 80% de la producción mundial de esta planta. Los productores y compañías involucradas con la producción de la estevia creen que el modelo de sustitución de azúcar se puede transmitir hacia otros países, y se estima que la estevia puede apoderarse del mercado del azúcar a un nivel porcentual de entre 20 y 25% en los próximos años.

### 6.8 Perspectivas de la agroindustria cañera nacional en el mediano plazo

A pesar de la experiencia adquirida a lo largo de los siglos y su importancia en los mercados nacional y global, el sector sucroenergético brasileño ha experimentado una de sus peores crisis en la historia. Esta crisis es el resultado de una combinación de factores económicos, tecnológicos y climáticos, y su detonante fue la crisis financiera que comenzó en 2007 en los Estados Unidos y se extendió por todo el mundo, lo que repercutió en una disminución del ritmo de inversión en la economía mundial en su conjunto. Ese mismo año, la política energética del gobierno brasileño comenzó a sufrir un cambio a favor de los combustibles fósiles (y en detrimento de los biocombustibles) como resultado del descubrimiento de grandes reservas de petróleo en la capa pre-sal de la costa brasileña, con un volumen de aproximadamente 50 mil millones de barriles.

Dificultando aún más esta situación, tres zafras sucesivas resultaron comprometidas debido al clima: lluvia durante la temporada de zafra 2009/2010 y la sequía en las zafras 2010/2011 y 2011/2012. Durante este período, la producción y el consumo de etanol se volvieron menos atractivos debido a una escasez de azúcar en el mercado internacional (que dio lugar a un aumento de los precios de esta *commodity*) y la política de precios del Gobierno brasileño para la gasolina (los cuales fueron mantenidos por debajo del mercado internacional con el fin de controlar la inflación). Otros factores que contribuyeron a la crisis en el sector sucroenergético fueron la transición a la cosecha mecanizada (que conduce en un primer momento a una reducción de la productividad y un aumento de impurezas en la materia prima), el aumento de los costos de producción (tierra, mano de obra, diésel y otros insumos) y la escasez de créditos bancarios. La caída en la producción de etanol por parte del sector sucroenergético ha llegado a tal punto que Brasil se ha visto obligado a importar etanol de maíz de Estados Unidos para satisfacer su demanda interna.

Para dar una dimensión de la crisis, más de 80 ingenios se han cerrado, por lo que actualmente hay 371 plantas en Brasil, más de 60 de ellas están en quiebra, teniendo en cuenta tanto las plantas que están operando como las inactivas. En los últimos dos años se ha producido una pérdida de más de 100 mil puestos de trabajo

directos en el sector productivo, e incluso hoy en día muchas empresas en el sector sucroenergético tienen un alto nivel de deuda neta y una parte importante de sus ingresos están comprometidos al pago de intereses.

Por otra parte, se prevé que el sector podrá reanudar su crecimiento. De acuerdo con una proyección para 2024 de la OCDE-FAO (2015), se espera que los precios del azúcar refinado y de la caña de azúcar crezcan 2.6% y 4.8% al año, respectivamente. Se espera que la superficie cultivada aumente 2.9% por año, alcanzando un total de 11,5 millones de hectáreas para el año 2024, y se espera que en ese mismo periodo las exportaciones de azúcar crezcan de 25.7 a 31.9 millones de toneladas.

Con respecto al etanol, la demanda interna de etanol anhidro e hidratado está mostrando de nuevo una tendencia de crecimiento. El etanol deberá tomar un papel importante en el mercado de ciclo Otto, dado que los *flex-fuel* constituyen el 58% de la flota nacional de vehículos ligeros en 2013 (20.7 millones de un total de 35.8 millones), y se espera que alcance el 78% de participación en el año 2023 (EPE, 2014a).

El capital extranjero continúa con una fuerte presencia en el complejo cañero de Brasil. Las empresas extranjeras buscan aprovechar la competitividad del azúcar, del bagazo y de la paja de la caña de azúcar como materias primas, pues se ha estimado que el cultivo, la cosecha y el transporte de la biomasa representan de 80 a 90% del costo total de la producción de biocombustibles. Esta ventaja comparativa de la caña de azúcar brasileña y la madurez de la agroindustria cañera permiten entrever una exportación cada vez mayor para los distintos países que necesitan cumplir con los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sobre todo después de los acuerdos firmados en 2015 en la 21ª Cumbre del Clima París (COP 21). En Brasil, el objetivo es que los biocombustibles, que hoy representan el 15% de la matriz energética, representen el 18% en 2030, y que en 2050 sean producidos 50 mil millones de litros de etanol al año, lo que significa 20 mil millones de litros por encima de la producción actual.

Esta situación indica que se abrirán nuevas oportunidades para Brasil en los próximos años, y se espera que el país siga como uno de los protagonistas en el comercio internacional y en el desarrollo tecnológico relacionados con la caña de azúcar y el etanol.

# 7

## La agroindustria cañera en Guatemala



### 7.1 Resumen

La agroindustria azucarera en Guatemala está conformada por 12 ingenios azucareros. Produce 2.98 millones de toneladas métricas de azúcar de las cuales exporta el 72 %, y de éstas 0.78 millones de toneladas métricas son destinadas al consumo interno. Esta industria genera cerca de 65,000 empleos directos y 350,000 empleos directos e indirectos en 271,000 hectáreas cosechadas de caña, que equivalen al 2.5 % del territorio nacional. El componente tecnológico ha sido uno de los factores que ha permitido el desarrollo de la agroindustria en este país, considerándose que para contribuir al aumento de la productividad, el desarrollo de variedades e investigación industrial para mejorar la recuperación de sacarosa y agricultura de precisión, son las opciones que permitirán la consolidación a futuro. El presente capítulo describe la evolución de la agroindustria azucarera de Guatemala, considerando los temas siguientes: la importancia de la agroindustria en Guatemala, análisis de las tendencias de la producción y exportación de azúcar, indicadores de la eficiencia productiva, comparación con países exportadores de azúcar y los factores de desarrollo.

### 7.2 Importancia de la agroindustria azucarera

La agroindustria azucarera de Guatemala está conformada por 12 ingenios azucareros, los cuales se ubican en la planicie costera del océano Pacífico de Guatemala (Figura 134). Para el año 2015, el azúcar representó el segundo producto de exportación de Guatemala y el primero dentro de las exportaciones agrícolas (Figura 135). Guatemala produce 2.98 millones de toneladas métricas de azúcar de las cuales exporta el 72 % (Tabla 92); 0.78 millones de toneladas métricas son destinadas al consumo interno. El azúcar para consumo doméstico es fortificado con vitamina A y enriquecido con hierro.

Los ingenios cogeneran 2,600 gwh/año, que aporta el 29 % de la demanda de energía eléctrica del mercado nacional (período de zafra noviembre - mayo).

En el año 2014, cinco destilerías produjeron 269 millones de litros de etanol, el cual fue exportado a Europa y Estados Unidos.

La agroindustria azucarera guatemalteca está conformada por doce ingenios y diversas organizaciones gremiales: Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), Fundación del Azúcar (FUNDAZÚCAR), Unión de Cañeros; Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala (ATAGUA), Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), EXPOGRANEL e Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC).

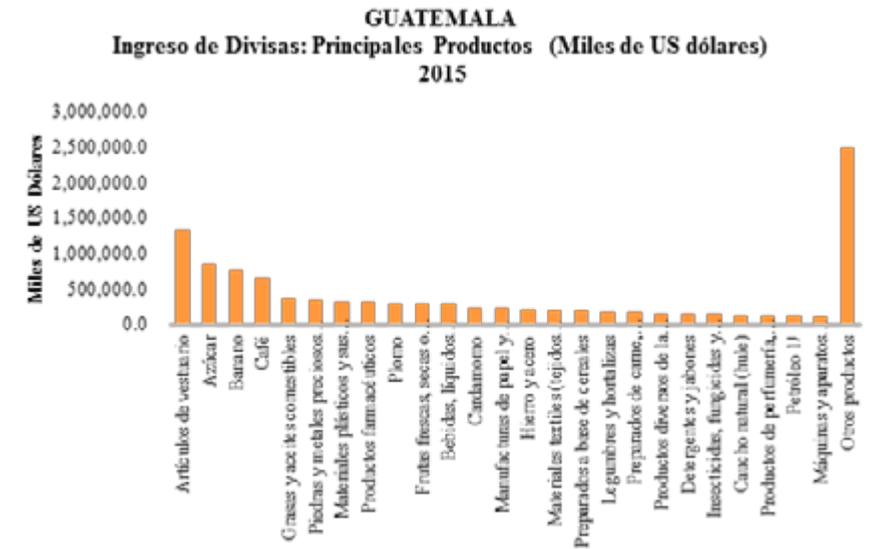
La agroindustria azucarera genera 65,000 empleos directos y 350,000 empleos directos e indirectos en 271,000 hectáreas cosechadas de caña, que equivalen al 2.5 % del territorio nacional.

Figura 134. Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de Guatemala. Los ingenios azucareros están identificados por un símbolo de fábrica y con letras de color verde.



Fuente: elaboración propia.

Figura 135. Guatemala. Ingreso de divisas por exportaciones en miles de US dólares.



Fuente: <http://www.banguat.gov.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2015/ceie01.htm>

Tabla 92. Datos generales de la agroindustria azucarera de Guatemala, zafra 2014/2015.

Ingenios	12: Concepción, Pantaleón, Palo Gordo, Madre Tierra, Tululá, San Diego-Trinidad, Santa Teresa, La Sonrisa, La Unión, Santa Ana, Magdalena, El Pilar
Superficie cosechada	271,000 hectáreas (2.5 % del territorio nacional)
Caña molida	28.67 millones de toneladas métricas
Producción de azúcar	2.98 millones de toneladas métricas
Rendimiento de caña	104 toneladas métricas de caña por hectárea (TCH)
Rendimiento de azúcar	11 toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH)
Exportación de azúcar	2.14 millones de toneladas métricas (72 %), 4º. Lugar en exportación a nivel mundial
Consumo interno	0.78 millones de toneladas métricas, azúcar fortificada con vitamina A (1,986) y enriquecida con hierro (2,008)
Cogeneración	2,600 GWh/año aporta el 29 % de la demanda de energía eléctrica del mercado nacional (en período de zafra noviembre – mayo)

Tabla 92. Datos generales de la agroindustria azucarera de Guatemala, zafra 2014/2015 (continuación).

Etanol	5 destilerías, 269 millones de litros, generan US\$ 152 millones en divisas (2,014)
Generación de divisas por exportación de azúcar	US\$851 millones (2,015)
Generación de empleo	65,000 empleos directos y 350,000 empleos directos e indirectos
Organizaciones gremiales	Asociación de Azucareros de Guatemala, ASAZGUA; Fundación del Azúcar, FUNDAZUCAR; Unión de Cañeros; Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala, ATAGUA; Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, CENGICAÑA; EXPOGRANEL e Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, ICC.

Fuente: ASAZGUA (www.azucar.com.gt), CENGICAÑA. 2015. Boletín Estadístico 16-1 y Banco de Guatemala <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2015/ceie01.htm>

### 7.3 Análisis de tendencias en la producción de azúcar y exportaciones

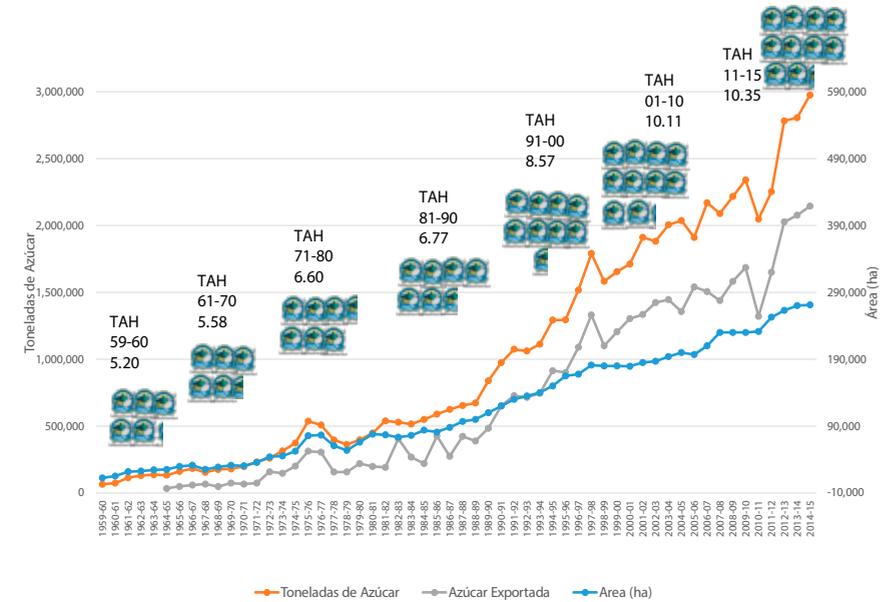
La producción de azúcar en Guatemala ha venido creciendo de forma permanente desde 1960 (Figura 136) como producto del incremento en área y, principalmente, del aumento de la productividad. En la actualidad, el área cosechada de caña de azúcar representa el 2.5 % de la superficie total del país.

En la zafra 1950/1960 se cosecharon 12,534 hectáreas (ha) con una producción de azúcar de 65,163 toneladas métricas (tm) y un rendimiento de 5.24 TAH. Para la zafra 2014/2015, los valores alcanzaron 271,000 ha, 2,975,801 tm y 10.97 TAH para área, producción de azúcar y rendimiento, respectivamente.

El aumento de la productividad ha sido más notable en los últimos 20 años; en el quinquenio 1985/1990, el rendimiento fue de 7.10 TAH, mientras que para el último quinquenio 2010/2015 llegó hasta 10.35 TAH (Figura 137).

Las caídas en el rendimiento que pueden observarse en la Figura 136, se han debido a fenómenos meteorológicos de gran magnitud. El huracán Mitch ocurrió en octubre de 1998, la tormenta Stan en octubre de 2005 y la tormenta Agatha en mayo de 2010.

Figura 136. Tendencias en área cosechada, producción, exportación y rendimiento de azúcar en Guatemala, 1960-2015.



\*TAH: Toneladas de Azúcar por Hectárea.

Fuente: boletín estadístico, 16:1, 2015, CENGICAÑA.

Figura 137. Rendimiento de azúcar/TAH, 1960-2015.

Quinquenio	TCH	% Sacarosa	TAH
1959/60*	54	9.70	5.24
1960/65	58	9.34	5.41
1965/70	63	9.23	5.82
1970/75	75	8.81	6.61
1975/80	78	8.49	6.62
1980/85	73	9.05	6.65
1985/90	74	9.64	7.10
1990/95	81	10.10	8.17
1995/00	87	10.39	9.06
2000/05	90	11.33	10.16
2005/10	93	10.79	10.07
2010/15	100	10.39	10.35

\*Solo 1959/1960

### 7.3.1 Indicadores de eficiencia productiva en campo y fábrica

En Guatemala operan 12 ingenios azucareros. El ingenio Magdalena, para la zafra 2014/2015, reportó una molienda promedio de 36,796 tm/día; el segundo lugar lo ocupó el ingenio Pantaleón, con 25,938 tm/día; le siguen tres ingenios, con más de 10,000 tm/día: Santa Ana, La Unión y El Pilar, luego cinco ingenios con más de 5,000 tm/día: Madre Tierra, Trinidad, Palo Gordo, Concepción y Tululá y dos ingenios con menos de 500 tm/día: Santa Teresa y La Sonrisa (Tabla 93).

La zafra se realiza en un promedio de 180 días iniciándose en noviembre y finalizando en mayo.

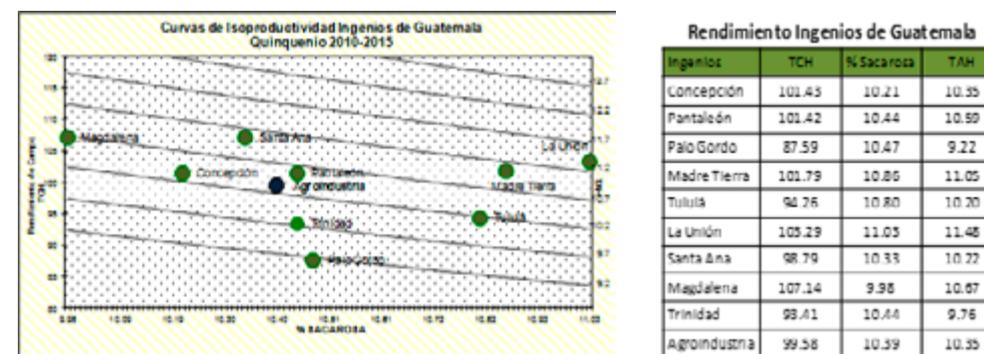
Del análisis de los nueve ingenios de Guatemala de los que se tienen datos de las series históricas completas (Figura 138), se puede decir lo siguiente:

1. Los nueve ingenios están arriba del rendimiento agroindustrial promedio mundial de 7.2 TAH, reportado por Aguilar *et al.* (2011), con base en información de la International Sugar Organization (ISO) y FAOSTAT.
2. En el último quinquenio, los dos ingenios que han destacado en TAH son La Unión y Madre Tierra, con 11.48 y 11.05 TAH, respectivamente.
3. En producción de caña por hectárea (TCH) sobresale el ingenio Magdalena, con 107 toneladas de caña por hectárea.

Tabla 93. Principales características de los ingenios de Guatemala, zafra 2014-2015 (ordenados por molienda diaria tm/día).

Ingenio	Año de fundación	Molienda diaria (tm/día)	Días efectivos de molienda	Caña molida (tm)	Producción de azúcar (tm)	TCH	% Sacarosa	TAH
Magdalena	1,976	36,796	189	6,954,397	716,749	114.13	10.31	11.77
Pantaleón	1,870	25,938	185	4,798,528	498,273	106.57	10.38	11.06
Santa Ana	1,970	17,291	174	3,008,628	310,928	100.45	10.33	10.38
La Unión	1,969	16,612	182	3,023,367	339,644	112.82	11.23	12.67
El Pilar	1,979	13,942	170	2,370,069	254,731	N.D.	10.75	N.D.
Madre Tierra	1,963	9,967	184	1,833,884	197,725	108.19	10.78	11.66
Trinidad	1,988	9,055	186	1,684,254	171,642	95.42	10.19	9.72
Palo Gordo	1,930	8,325	192	1,598,455	170,296	95.11	10.65	10.13
Concepción	1,878	8,129	181	1,471,377	156,983	106.57	10.67	11.37
Tululá	1,914	5,735	175	1,003,597	108,859	94.48	10.85	10.25
Santa Teresa	1,864	477	83	39,567	3,755	N.D.	9.49	N.D.
La Sonrisa	1,958	347	58	20,151	1,992	N.D.	9.89	N.D.

Figura 138. Indicadores de productividad de ingenios azucareros de Guatemala.



ND = No hay datos.

Fuente: ASAZGUA y CENGICAÑA. Boletín Estadístico No. 16:1, 2015.

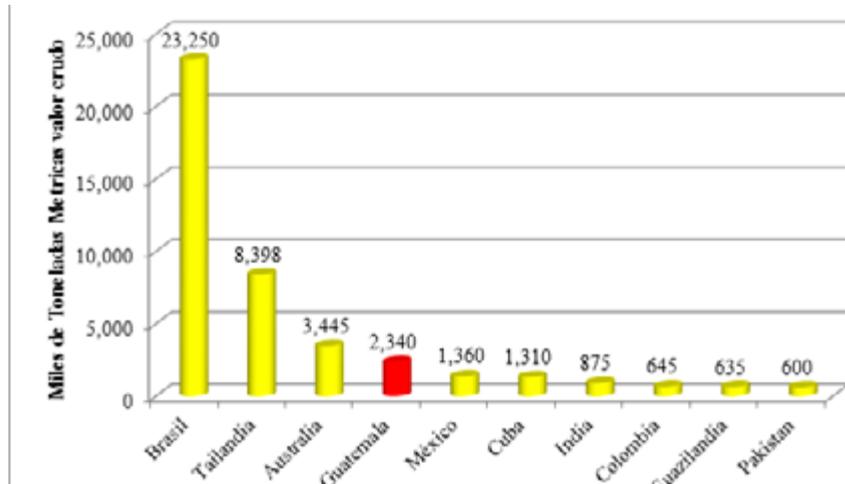
### 7.3.2 Comparación con países exportadores de azúcar a nivel mundial

Según la International Sugar Organization, para la zafra 2014-2015 los principales países exportadores de azúcar a nivel mundial fueron Brasil, Tailandia, Australia, Guatemala, México, Cuba, India, Colombia, Suazilandia y Pakistán (Figura 139). Del azúcar exportado por Guatemala para la zafra 2014-2015, aproximadamente 60 % es azúcar crudo y 40 % es azúcar blanco.

Los principales países a los que Guatemala exportó fueron China, Ghana, Chile, Estados Unidos, Corea, Taiwán y Japón. Los indicadores de productividad de seis de los principales países exportadores se observan en la Figura 140. Colombia en primer lugar, con 12.03 TAH; Guatemala en segundo lugar, con 10.38 TAH; estos dos países obtienen altos niveles de TAH como producto de sus elevados valores de TCH: 104 y 99 para Colombia y Guatemala, respectivamente, como promedio del quinquenio 2010-2015.

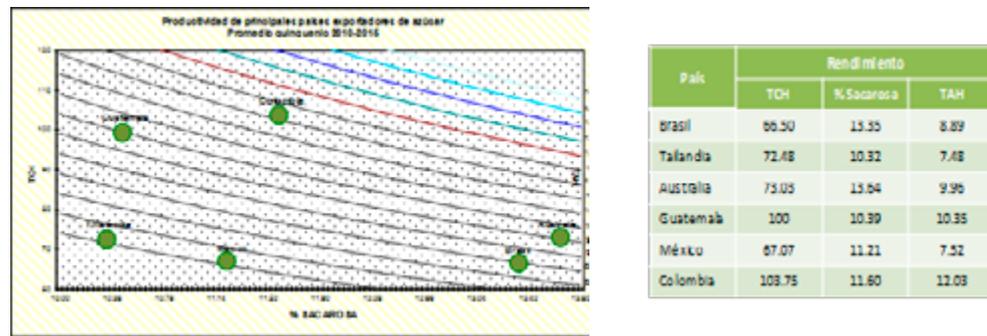
Australia y Brasil sobresalen en rendimiento en porcentaje de sacarosa, con 13.64 y 13.35.

Figura 139. Principales exportadores (10) de azúcar a nivel mundial zafra 2014/2015.



Fuente: International Sugar Organization – ISO -, World Sugar Balance, agosto 2015.

Figura 140. Productividad de principales países exportadores de azúcar. Promedio quinquenio 2010-2015.



Fuente: Brasil: UNICA: <http://www.unicadata.com.br>; Tailandia: Sugar Annual Report 2014 USDA; Australia: Sugar Annual Australia 2015; Guatemala: CENGICAÑA. 2015. Boletín Estadístico 16-1; México: <http://www.campomexicano.gob.mx>; Colombia: Informes Anuales CENICAÑA.

### 7.3.2.1 Factores de desarrollo

Diversos autores describen los principales factores que han incidido en el desarrollo de la agroindustria azucarera Guatemalteca; éstos se aprecian en la tabla siguiente:

Tabla 94. Principales factores de desarrollo de la agroindustria azucarera de Guatemala.

Factor	Descripción	Autor (es)
Ecológico	Condiciones agroecológicas favorables	International Sugar Journal (1998)
Organizacional gerencial	Industria privada	International Sugar Journal, 1998
	Organización gremial	CEPAL (2007) TECNICANA (2005)
	Método de exportación	PNUD/Guatemala (2009) FUNDE (2010)
	Terminal de exportación Diversificación Sostenibilidad	CEPAL (2012) Hasrajani (2004) McSweeney (2005)
Gestión de la administración	Capacidad de inversión Convenios	ASTI-IFPRI-IDB, Gert-Jan Stads y Nienke M. Beintema (2009) <a href="http://www.eaac.org.ar/convenios">www.eaac.org.ar/convenios</a>
Tecnológico	Operaciones en campo	Int. Sugar (Jul 1998)
	Operaciones en fábrica	Herrera <i>et al.</i> (2001)  Meneses <i>et al.</i> (2003) ASTI-IFPRI-IICA (2008) GIPB-Global Crop Diversity Trust (2009) Francisco Aguirre (2012)
Investigación y desarrollo		MAGA (2012) CEPAL-GIZ (2013) <a href="http://www.ecocienciagt.com/articulos/la-ciencia-detrs-de-una-productiva-zona-ca-era">http://www.ecocienciagt.com/articulos/la-ciencia-detrs-de-una-productiva-zona-ca-era</a> <a href="http://research.ipni.net/research/projects.nsf/0/FF61F4943CE63BAD85257D74004AA861">http://research.ipni.net/research/projects.nsf/0/FF61F4943CE63BAD85257D74004AA861</a> Hasrajani (2004)
	Capacitación	<a href="http://agricultura-medioambiente.com/">http://agricultura-medioambiente.com/</a> <a href="http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/4600/capiv.htm">http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/4600/capiv.htm</a> <a href="http://www.icidca.cu/Red/participantes/participantes.htm">http://www.icidca.cu/Red/participantes/participantes.htm</a>
Transferencia de tecnología		McSweeney (2005) <a href="http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/nota-principal/595-mintrab-intercambia-conocimientos-con-sector-azucarero.html">http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/nota-principal/595-mintrab-intercambia-conocimientos-con-sector-azucarero.html</a> <a href="http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-92-6-0973C">http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-92-6-0973C</a>
	Benchmarking	Menéndez y Estévez (2005) Tay y Huete (2006) <a href="http://www.conadesuca.gob.mx/citcana.html">http://www.conadesuca.gob.mx/citcana.html</a> FORAGRO-IICA (2006)
Biotecnología		Pamela Pennington (2012)
	Productividad	Gesly Anibal Bonilla L. (2014) <a href="http://www.ticotimes.net/2013/12/30/guatemala-s-sugar-industry-rakes-in-profits-thanks-to-high-productivity-low-wages">http://www.ticotimes.net/2013/12/30/guatemala-s-sugar-industry-rakes-in-profits-thanks-to-high-productivity-low-wages</a> <a href="https://books.google.com.gt/books?id=qKvVAgAAQBA-J&amp;pg=PA112&amp;lpg=PA112&amp;dq=I%2BD+cengica%3%B1a&amp;source=bl&amp;ots=KiezYNyOU&amp;sig=3Knyt9JOSyRu-7pEeSRMjB_ewwWI&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;redir_esc=y#v=onepage&amp;q=I%2BD%20cengica%3%B1a&amp;f">https://books.google.com.gt/books?id=qKvVAgAAQBA-J&amp;pg=PA112&amp;lpg=PA112&amp;dq=I%2BD+cengica%3%B1a&amp;source=bl&amp;ots=KiezYNyOU&amp;sig=3Knyt9JOSyRu-7pEeSRMjB_ewwWI&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;redir_esc=y#v=onepage&amp;q=I%2BD%20cengica%3%B1a&amp;f</a>
Social	Responsabilidad Social Empresarial Educación, salud y desarrollo municipal	Herrera <i>et al.</i> (2001) McSweeney (2005)

Fuente: elaboración propia.

Los autores mencionados coinciden en que el componente tecnológico ha tenido un rol importante en el desarrollo de la agroindustria azucarera de Guatemala.

En el libro *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*, el capítulo I describe de manera general el desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera, incluyendo las políticas de investigación y desarrollo a nivel sectorial, las estrategias de priorización de los programas y proyectos de investigación y cambios en los factores tecnológicos.

Dicho libro puede obtenerse gratuitamente en los siguientes sitios:

CENGICANA: <http://www.cengicana.org/es/publicaciones/libro-de-la-cana-de-azucar>

AGORA-FAO: <http://www.fao.org/agora/es/>

SLIDESHARE: [http://www.slideshare.net/mmelgar0506/libro-el-cultivo-de-la-cao-de-azcar-16-febdoc?qid=d-222d58e-39a4-40ce-94e9-b7013970dbe3&v=&b=&from\\_search=1](http://www.slideshare.net/mmelgar0506/libro-el-cultivo-de-la-cao-de-azcar-16-febdoc?qid=d-222d58e-39a4-40ce-94e9-b7013970dbe3&v=&b=&from_search=1)

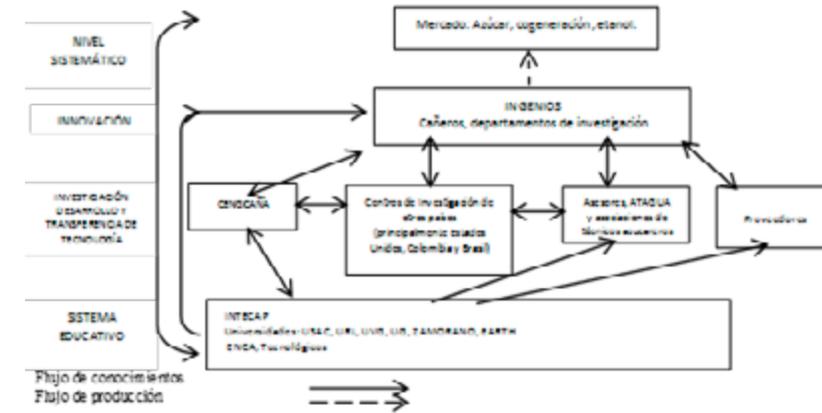
DIALNET: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=572719>

### 7.3.2.2 Sistema de innovación de la caña de azúcar en Guatemala

De acuerdo con Tosi (2010), el desempeño innovador de un país, región o sector no puede ser evaluado focalizando sólo los logros de las organizaciones individualmente. Por el contrario, la innovación es un proceso que resulta de la interacción de diversas organizaciones.

En la Figura 141 se presentan las principales empresas u organizaciones que participan en el sistema de innovación de la caña de azúcar en Guatemala.

Figura 141. Sistema de innovación de la caña de azúcar en Guatemala.



Fuente: elaboración propia.

### 7.4 Diversificación de usos de la caña de azúcar y manejo de subproductos

Un factor importante del desarrollo que la agroindustria azucarera de Guatemala ha experimentado ha sido su capacidad para la diversificación de su producción. El azúcar ha sido el principal producto, sin embargo, en la década de los noventa inició la co-generación de energía eléctrica, y en la primera década de este siglo XXI se extendió la producción de etanol. La cachaza y la vinaza se utilizan como biofertilizantes (Figura 142).

Figura 142. Productos de la agroindustria azucarera en Guatemala.



Fuente: elaboración propia.

### 7.4.1 Producción de etanol a partir de caña de azúcar en Guatemala

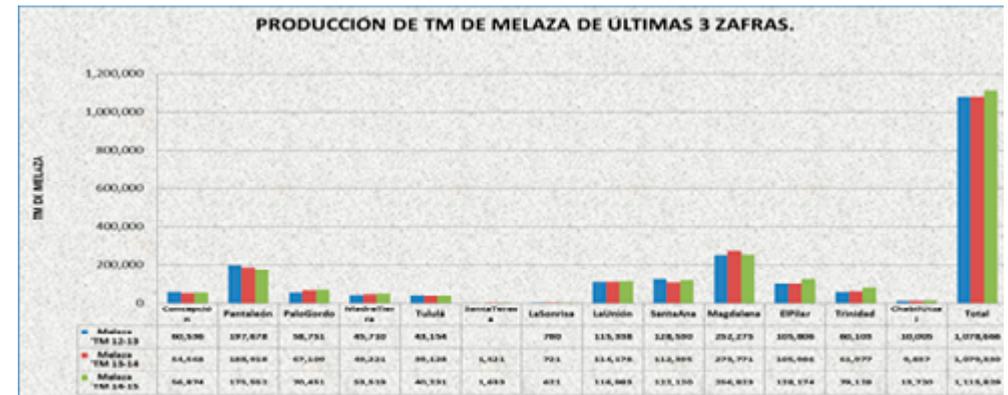
En Guatemala se crearon leyes en 1986, de acuerdo a la crisis energética de esos años y a la alta dependencia de los combustibles derivados del petróleo. Se consideró que Guatemala cuenta con una alta disponibilidad de recursos renovables. El Decreto Ley 20-86, llamada Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, es una ley promotora del desarrollo de fuentes nuevas y renovables de energía (<http://www.fao.org/docrep/t2363s/>) con el fin de reducir la dependencia de los hidrocarburos, promover el uso racional de los recursos naturales, mejorar el nivel de vida de la población y asegurar el abastecimiento energético en las áreas rurales.

Dentro del marco legal de las energías renovables, solamente la Ley del Alcohol Carburante, Decreto Ley No. 17-85, es la única que cuenta con un reglamento (Mirón, 2012), y en el artículo 13 del mismo se comenta que el porcentaje de mezcla será fijado en acuerdo ministerial cada año, y que dicho porcentaje en ningún caso será menor al 5 %.

Sin embargo, el decreto de ley para alcohol carburante para mezclar con la gasolina, actualmente está inoperante y no se conocen completamente los factores que no permiten que esta ley entre en vigencia o, bien, que pueda entrar a debate nuevamente, ser evaluada, posiblemente modificada y, al adoptarse, sea del mayor beneficio para el país.

El alcohol industrial, ya sea potable, hidratado o anhidro es producido a partir de la melaza. La producción de melaza de los ingenios de Guatemala para las tres zafras recientes, se muestra en la Figura 143. Según los cálculos de rendimiento de etanol con base en los azúcares fermentables de la melaza, en Guatemala, ya se produce todo el etanol posible a partir de la misma. Los ingenios de Guatemala han promediado en las últimas tres temporadas, alrededor de 40 kg melaza/Tm de caña.

Figura 143. Producción de melaza (tm) en ingenios de Guatemala para las zafras 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015.



Fuente: elaboración propia con datos de reportes finales de ASAZGUA.

Guatemala cuenta con cinco destilerías que tienen una capacidad de producir 269 millones de litros de alcohol por año (Tabla 95).

Tabla 95. Destilerías de Guatemala y su capacidad de producción de alcohol.

Nombre	Capacidad instalada (lt/día)	Factor de planta*	Días de operación	Producción anual estimada (litros)
Palo Gordo	120,000	65%	155	18,000,000
Servicios Manufactureros	120,000	95%	330	38,000,000
DARSA	250,000	95%	330	79,000,000
Bioetanol	600,000	95%	155	89,000,000
Alcoholes MAG	300,000	95%	155	45,000,000
<b>Total</b>	<b>1,390,000</b>			<b>269,000,000</b>

Fuente: elaboración propia.

Guatemala tiene la capacidad de producir todo el etanol que se necesita para suplir la demanda para sustituir 10 % de la gasolina.

### 7.4.1.1 Mercado

Para el año 2013, el mercado del etanol guatemalteco consistió en un 80 % del mismo como producto de exportación, mientras que el 20 % se utilizó en Guatemala para la industria. En los últimos años, la exportación del etanol y la apertura de mercados ha estado supeditada a que las destilerías cuenten con certificaciones, principalmente de sostenibilidad como la International Sustainability & Carbon Certification (ISCC) con la cual ya cuentan varias destilerías de Guatemala.

Los principales mercados del alcohol de Guatemala son los países de la Unión Europea, que exigen certificaciones ISCC, y EUA, que solicitan una certificación RFS2 (Renewable Fuel Standard). El alcohol neutro de alta pureza es muy solicitado como materia prima para industria de cosméticos, solventes y bebidas.

Todo el alcohol anhidro carburante tiene destino fuera de Guatemala, especialmente la Unión Europea.

### 7.4.2 Evolución de la cogeneración en Guatemala

#### 7.4.2.1 Marco legal

Con la aprobación y vigencia de una nueva ley en el país (Ley General de Electricidad 1996), los ingenios azucareros de Guatemala decidieron entrar al mercado de electricidad creando un nuevo actor dentro de los generadores: la cogeneración”. Esta modalidad fue favorecida gracias a la promoción y liberación de la generación, el transporte y la distribución de energía eléctrica; anteriormente a esta ley, la generación quedaba en manos del Estado. Desde 1996 a la fecha, entrar al mercado de electricidad es una decisión bajo condiciones de libre mercado. La Ley General de Electricidad del país establece que es libre la generación de electricidad y no se requiere autorización previa por parte del Estado, y el artículo 8 de dicha ley establece que es libre la instalación de centrales generadoras.

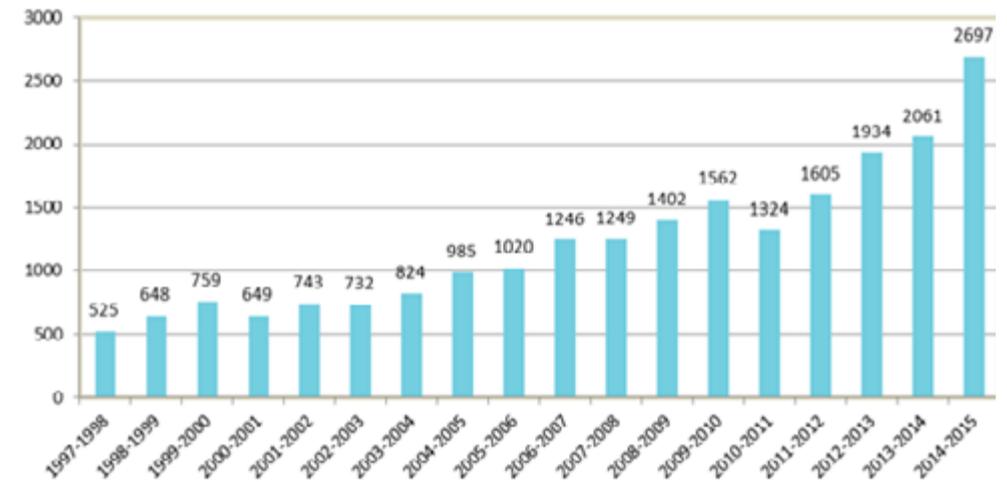
Para el proceso de la cogeneración, existe el Decreto-Ley No. 52-2003 (Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable). La ley tiene como objetivo fundamental el promover y fomentar el aprovechamiento de fuentes nuevas y renovables de energía, fuentes no convencionales y fuentes nuevas en el país, estableciendo incentivos y ventajas legales a las actividades que involucren uno o más de los siguientes campos: investigación, experimentación, educación, capacitación, promoción, difusión, producción, fabricación de equipos específicos y para el aprovechamiento de fuentes nuevas y renovables de energía y la comercialización de los productos obtenidos de estas actividades, definiendo como “fuente nueva y renovable de energía” (artículo No. 7) aquellas como la radiación solar, el viento, las mareas, el agua, la geotermia, la biomasa y cualquier otra fuente de energía que no sea la nuclear ni la producida por hidrocarburos y sus derivados.

### 7.4.2.2 Producción y venta de energía por cogeneración

La cogeneración en Guatemala, como una figura comercial dentro del mercado eléctrico de país, se inició en los años 90, a lo largo de ese período, los ingenios azucareros fueron las industrias cogeneradoras por excelencia; produciendo calor y electricidad a través de un desecho biocombustible de la caña: el “bagazo”.

El sector fue creciendo de forma constante (Figura 144) (Muñoz, 2015) y requirió de fuertes inversiones en la agroindustria azucarera; en la actualidad se cubre el 28.9 % de la demanda de energía eléctrica del mercado nacional (en período de zafra noviembre-mayo).

Figura 144. Generación histórica anual de los cogeneradores (Gwh/año).



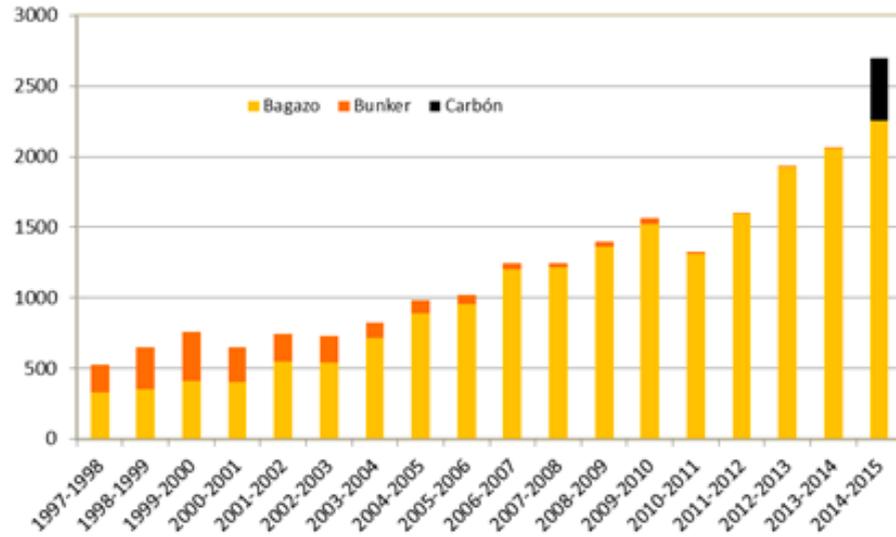
Fuente: elaboración propia.

Los ingenios cogeneradores enfrentan en la actualidad varios retos, principalmente la abundante competencia de otras fuentes de energía tales como las hidroeléctricas y plantas carboneras. Los ingenios se han adaptado a las reglas cambiantes del mercado, que cada vez más exige nuevas estrategias, por lo tanto, el bajo costo y la eficiencia energética son ya prioridades fundamentales para la rentabilidad y permanencia de la cogeneración en el país.

Con la quema del bagazo como combustible en las calderas, se ha logrado generar y mantener la producción de vapor que ha sido la fuerza motriz y el que contiene la energía más utilizada en todos los procesos de fabricación del azúcar. Como resultado de la necesidad de incrementar la producción de dicho vapor, los ingenios cogeneradores han ido mejorando su tecnología de turbinas.

Desde que se inició la cogeneración en el país, se han utilizado tradicionalmente dos combustibles, el bagazo y el bunker C, el bagazo ha sido el combustible más utilizado en época de zafra, y en época de no zafra (invierno) se ha utilizado el bunker C.

Figura 145. Venta de energía por tipo de combustible (gwh/año).



Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, el bunker se utiliza sólo en emergencias técnicas, y en eventuales convocatorias que el administrador del mercado mayorista (AMM) hace a los ingenios en época de no zafra. La cantidad de bagazo disponible llena los requerimientos de generación en el período de zafra. En el 2015, algunas nuevas plantas de los ingenios entraron a operar con carbón mineral, especialmente en la época de no zafra, esto provocó el aumento de la generación con este combustible (Figura 145) (Muñoz 2015), convirtiéndose así en el “nuevo” combustible de los cogeneradores.

Los ingenios tienen una posibilidad de utilizar nuevos biocombustibles a partir de los residuos agrícolas de la cosecha (RAC) que quedan en el campo (hojas), especialmente si la cosecha se realiza en verde, las características combustibles de los residuos de la cosecha de la caña son similares a los del bagazo por lo que los ingenios tienen la capacidad futura teórica de aumentar su generación eléctrica con biomasa. Algunos cogeneradores han estado haciendo prueba con estos residuos con aparentes buenos resultados. Existe un cogenerador que utiliza biogás generado en biodigestores en donde se utiliza como sustrato el residuo de las destilerías de etanol (vinaza).

### 7.4.2.3 Mercado de la energía eléctrica

En la práctica, la cantidad de energía que puede ser generada y cogenerada por cada ingenio azucarero varía según la capacidad de cada uno, eso ha representado un incentivo para el crecimiento y para grandes inversiones. Al principio, los ingenios fijaron su interés en la posibilidad de aumentar la producción de energía para autoconsumo, pensando en limitar sus inversiones para hacer más eficientes sus procesos y contar con mayor disponibilidad de electricidad en la fábrica; hoy el enfoque es crecer también como suplidores de energía eléctrica. En el mercado eléctrico guatemalteco, los únicos generadores de energía eléctrica reconocidos como cogeneradores son los ingenios azucareros. Actualmente la ley establece que el mercado funcione con los siguientes agentes (Figura 146).

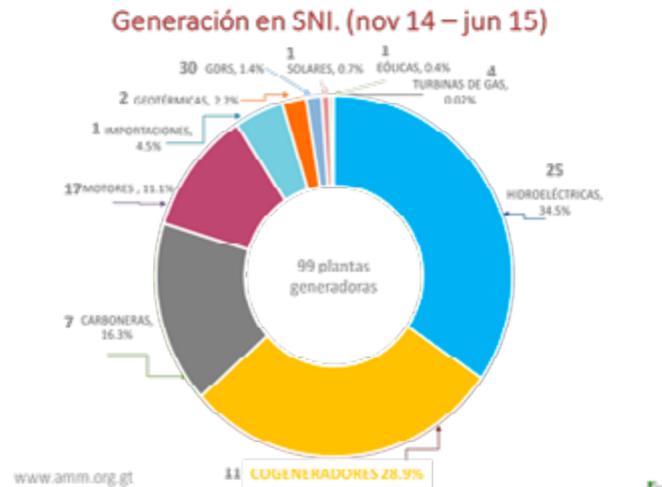
Figura 146. Agentes del subsector energético.



Fuente: Mercados Energéticos. Maestría de Energía Renovable 2015, Universidad Galileo.

El único ente encargado de las transacciones de generación, venta, compra, transporte y distribución de la energía eléctrica en el país es el Administrador del mercado mayorista (AMM). En la Figura 147, aparece la matriz energética eléctrica nacional vigente de los meses de noviembre del 2014 a junio del 2015. En ella pueden verse los diferentes generadores que aportaron energía al Sistema Nacional Interconectado (99 plantas generadoras).

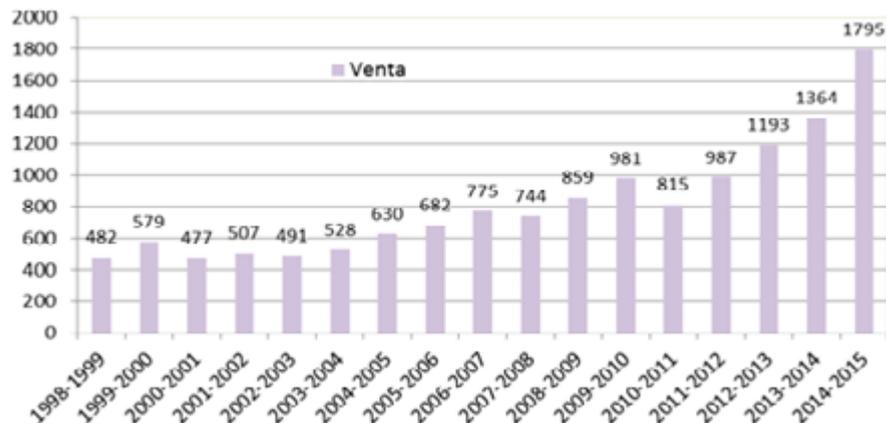
Figura 147. Matriz de generadores en zafra (% de participación por tecnología).



Fuente: elaboración propia.

Once plantas cogeneradoras (ingenios) cubrieron el 28.9 % de la demanda eléctrica del país en ese período, por debajo sólo de las plantas hidroeléctricas que cubrieron un 34.5 %, seguidas por las plantas térmicas carboneras, con un 16.3 %; los motores, con 11.1 %, y el resto de plantas, la mayoría con fuentes renovables que juntas aportan un 9.22 %. Las ventas de energía eléctrica de los cogeneradores han tenido la misma tendencia que la generación total, es decir, que a medida que el crecimiento de la generación se ha dado, se han podido colocar los excedentes en el mercado (Figura 148).

Figura 148. Venta de energía eléctrica de los cogeneradores (Gwh/año).



Fuente: elaboración propia.

### 7.4.3 Cachaza

La cachaza es un residuo en forma de sedimento que resulta de la clarificación del jugo de caña en la fabricación del azúcar. Por cada tonelada de caña molida en la fábrica se producen alrededor de 34 kg de cachaza. En la zafra 2010/2011, en Guatemala se produjeron 680,000 t de cachaza, con una molienda de 20,000,000 t de caña.

La cachaza tiene alto contenido de carbono orgánico, fósforo, calcio y en menores cantidades nitrógeno, de tal manera que es un material utilizado en la fertilización y mejoramiento de los suelos agrícolas. En la Tabla 96 se presenta la composición química promedio de la cachaza proveniente de muestras de varios ingenios.

Tabla 96. Análisis de cachaza (base seca) promedio de varios ingenios de Guatemala.

Componentes y nutrientes	Valor
Agua (%)	75
pH	5.8
N (%)	1.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	2.2
K <sub>2</sub> O (%)	0.6
CaO (%)	1.0
MgO (%)	0.6
C (%)	40
Relación C/N	33.3

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 96 se deduce que cada tonelada de cachaza fresca aporta en total 3.0 kg de N, 5.5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1.5 kg de K<sub>2</sub>O. Esta cantidad total aportada puede constituir entre 0.6 y 1.5 kg de N disponible/t de cachaza dependiendo del suelo, 3.3 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 0.9 kg de K<sub>2</sub>O disponibles por tonelada de cachaza fresca (Pérez, 2003).

Las aplicaciones de cachaza incrementan los niveles de P disponible en el suelo, de acuerdo con los niveles aplicados. El P del suelo varió de 6.1 a 10.4, 17.4 y 33.8 ppm con la aplicación respectiva de 100, 300 y 500 t en toda la superficie, en un suelo Mollisol del estrato litoral, por tanto, el P del suelo pasó de niveles bajos a niveles altos de P disponible en el suelo (Pérez, 2003).

Los mayores incrementos en TCH observados se han dado con las aplicaciones de cachaza en suelos pobres, como los Entisoles superficiales con baja retención de humedad, y los incrementos hasta de 36 TCH se han dado con la aplicación de 500 t de cachaza/ha. Azañon *et al.* (2002) reportan incrementos acumulados en cinco años de 52 y 64 TCH, con la aplicación antes de la siembra de 100 y 200 t de cachaza/ha, con respecto al testigo sin cachaza, siendo la dosis más económica el nivel de 100 t. En la tabla 97 se presentan las dosis y formas de aplicación de cachaza para la zona cañera de Guatemala.

Tabla 97. Recomendaciones de formas y dosis de aplicación de cachaza.

Forma de aplicación	Dosis (t/ha)	Observaciones
En la superficie total incorporada con las labores antes de la siembra	100 - 300	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosis según distancia por alto costo del transporte.</li> <li>- Altos incrementos en TCH, especialmente en dosis altas (300 t/ha o más)</li> <li>- Problemas en la uniformidad de aplicación, especialmente en dosis bajas (&lt;200t/ha)</li> <li>- No requiere de equipo especial</li> <li>- Reducir el 50 por ciento de la fertilización nitrogenada al usar 100-200 t/ha y reducir el 100 por ciento al usar dosis altas (300 t/ha o más)</li> </ul>
Fondo del surco al momento de la siembra	20 -30	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor costo de transporte</li> <li>- Mejor uniformidad de aplicación</li> <li>- Requiere de equipo de aplicación adecuado</li> <li>- Se recomienda aplicar 40 kg de N junto con la cachaza al momento de su aplicación</li> </ul>
En la mesa o banda incorporada en la soca	40-60	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor costo de transporte</li> <li>- Buena uniformidad de aplicación</li> <li>- Se requiere de equipo de aplicación</li> <li>- Se recomienda ajustar la dosis de N y K según suelo y ciclo de cultivo</li> </ul>

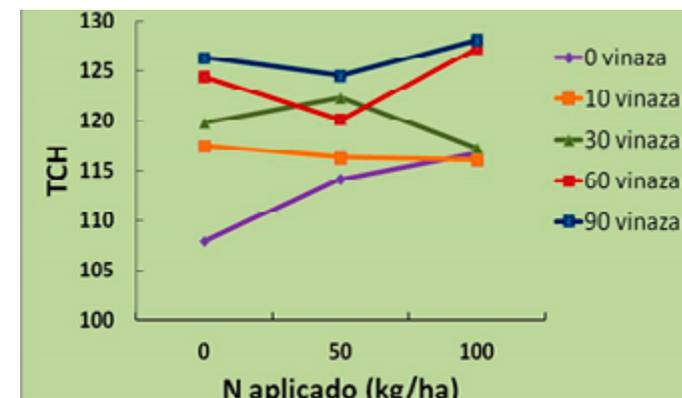
Fuente: elaboración propia.

#### 7.4.4 Vinaza

La vinaza es un residuo líquido proveniente de la destilación del alcohol y está constituido principalmente por agua, materia orgánica (MO) y minerales, entre los cuales el K es el más abundante. La vinaza es utilizada en los campos de cultivo con resultados positivos en el aumento de la productividad, economía en el uso de los fertilizantes y mejoramiento de los suelos en general (Pennatti *et al.*, 2005).

En Guatemala se ha observado que las aplicaciones de vinaza incrementan la producción de caña en distintos suelos y aportan las necesidades de K del cultivo y parte de las necesidades de N. En un ensayo de vinaza y dosis de N conducido en un suelo Andisol por seis años consecutivos, se encontró que en todos los años el rendimiento de caña se incrementó en la medida que aumentó la dosis de vinaza. En promedio, con la dosis más alta (120 m<sup>3</sup>/ha), se obtuvo un incremento anual de 16.6 TCH con relación al testigo sin vinaza, lo que representó en el período evaluado un incremento acumulado de 100 TCH (Pérez *et al.*, 2011). Asimismo, en este ensayo se encontró que la vinaza modifica la respuesta al N por parte del cultivo. En la Figura 149 se presenta el efecto promedio de las distintas dosis de vinaza en la respuesta al N en este suelo.

Figura 149. Efecto promedio de las aplicación de diferentes niveles de vinaza (m<sup>3</sup>/ha) sobre la respuesta a N durante 6 años consecutivos de aplicación, en un suelo Andisol con alto contenido de MO (7.6 %). Finca El Bálsamo, ingenio Pantaleón.



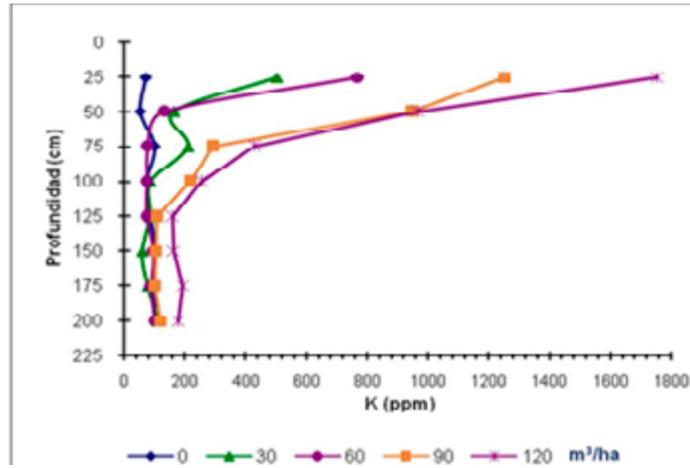
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 149 se observa que en ausencia de vinaza (0 vinaza), la aplicación de N produjo aumentos en el rendimiento de caña (TCH), teniendo en promedio un incremento del 8 % con la dosis de 100 kg de N/ha, la cual es común en este tipo de suelos. Sin embargo, en presencia de cualquier nivel de vinaza, el efecto de N en la producción fue nulo o leve y con rendimientos comparables o superiores al tratamiento testigo, que recibió sólo N en dosis alta. Los más altos tonelajes observados en los tratamientos Vinaza-0N con respecto al tratamiento convencional (100 kg N/ha) es un indicativo de que este efluente está aportando las necesidades de N del cultivo y corrigiendo otros nutrientes que están limitando la producción en estos suelos.

El uso de dosis altas de vinaza (> 60 m<sup>3</sup>/ha) resulta atractivo por los incrementos esperados en los tonelajes y en la reducción potencial de la dosis de N; sin embargo, es importante señalar que la vinaza aplicada en niveles altos en forma continuada puede aumentar significativamente los niveles de K intercambiable del suelo, tal como se muestra en la Figura 150. Se observa que la aplicación anual de 120 m<sup>3</sup> de vinaza/ha, durante seis años consecutivos, aumentó casi 25 veces la concentración original del K en la capa superficial del suelo (0-25cm), y pasó de 70 a 1,750 ppm al final del período. Por otro lado, se muestra que el K se ha movido a estratos inferiores en los tratamientos con dosis altas, aunque no más allá de los 75 cm de profundidad. El incremento de K intercambiable del suelo, al elevar las dosis de aplicación de vinaza y la permanencia sin cambios en los contenidos de Ca y Mg, causan incrementos de la saturación de K a valores muy altos, en consecuencia se producen desbalances de las bases en el suelo (Pérez *et al.*, 2011). De tal manera que es importante tener un control sobre las dosis aplicadas de la vinaza a nivel comercial y el monitoreo de la evolución del K del suelo. En Brasil se reporta que con altas aplicaciones de vinaza se retrasa

la maduración de la caña, se reduce el % caña, y aumenta el contenido de K y cenizas en el jugo de la caña, al final causa problemas en el proceso de fabricación del azúcar (Silva *et al.*, 1976; Orlando Filho *et al.*, 1995).

Figura 150. Efecto de la aplicación de vinaza en varias dosis durante seis años consecutivos en el K intercambiable en el perfil de un suelo Andisol profundo. Finca El Bálsamo. Ingenio Pantaleón.



Fuente: (Pérez *et al.*, 2011).

## 7.5 El mercado de los edulcorantes diferentes a la caña de azúcar

Basándonos en la clasificación por categorías y tipos de edulcorantes que hace la Organización Internacional del Azúcar (ISO), se revisaron las partidas arancelarias para analizar las importaciones de azúcares y edulcorantes realizadas por Guatemala, de 2011 a 2015 (Tabla 98).

Tabla 98. Valor y volumen de importaciones de azúcares realizadas en Guatemala 2011-2015.

Partida arancelaria	Descripción	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	
		Valor US\$					Volumen kg					
17023	Glucosa y jarabe de glucosa, sin fructosa o con un contenido de fructosa, calculado sobre producto seco, inferior al 20 % en peso	8,257,466.0	9,826,590.0	8,695,259.0	4,607,120.0	5,846,980.0	15,116,770.0	15,629,674.0	12,997,201.0	7,729,031.0	9,516,449.0	
1702301	Sin fructosa											
17023011	Glucosa químicamente pura	8,257,466.0	9,826,590.0	8,695,259.0	4,607,120.0	5,846,980.0	15,116,770.0	15,629,674.0	12,997,201.0	7,729,031.0	9,516,449.0	
17023012	Jarabe de glucosa	3,877,685.0	5,108,390.0	9,506,853.0	11,475,628.0	11,215,832.0	6,137,850.0	8,006,911.0	14,183,597.0	20,206,984.0	20,165,045.0	
17023020	Con contenido de fructosa, calculado sobre el producto seco, inferior 20 % en peso	17,852.0	9,200.0	7,123.0	192.0	36,694.0	25,363.0	6,389.0	9,589.0	35.0	59,625.0	
17024000	Glucosa y jarabe de glucosa, con un contenido de fructosa, calculado sobre producto seco, superior o igual al 20 % pero inferior al 50 % en peso, excepto el azúcar invertido	1,182,570.0	241,596.0	392,893.0	686,332.0	412,025.0	2,002,887.0	425,064.0	617,894.0	1,142,430.0	725,057.0	
17025000	Fructosa químicamente pura	73,118.0	10,801.0	11,448.0	9,384.0	14,795.0	132,770.0	3,933.0	10,058.0	6,762.0	11,446.0	
17026000	Las demás fructosas y jarabe de fructosa, con un contenido de fructosa, calculado sobre producto seco, superior al 50 % en peso, excepto el azúcar invertido	92,947.0	37,505.0	66,927.0	94,525.0	104,777.0	91,662.0	25,265.0	38,258.0	50,202.0	51,554.0	
17029	Los demás incluidos el azúcar invertido y demás azúcares y jarabes de azúcar con un contenido de fructosa, calculado sobre producto seco, de 50 % en peso											
17029010	Maltosa químicamente pura	180,170.0	212,125.0	195,336.0	399,867.0	219,776.0	197,843.0	217,752.0	239,786.0	531,552.0	298,249.0	
17029020	Otros azúcares y jarabes excepto los jarabes de sacarosa y los caramelizados	375,999.0	303,542.0	313,684.0	264,407.0	318,863.0	137,658.0	261,806.0	230,362.0	203,367.0	286,830.0	
17029090	Otros	372,710.0	281,267.0	348,112.0	329,612.0	359,527.0	223,310.0	139,215.0	209,670.0	233,105.0	302,180.0	

Fuente: banco de Guatemala. Info: <http://www.banguat.gob.gt/estaeco/ceie>

En esta tabla se pueden encontrar edulcorantes calóricos y no calóricos. De las partidas que pueden incluir los edulcorantes no calóricos, se observa que han tenido un crecimiento lento durante los últimos años. Los valores anteriores no son significativos respecto al consumo de azúcar en Guatemala.

En los últimos años se pueden encontrar en Guatemala algunos edulcorantes no calóricos, dentro de los que se pueden mencionar como naturales los derivados de la *Stevia rebaudiana*, y como sintéticos, los sucralosa y la sacarina.

## 7.6 Perspectivas de la agroindustria cañera nacional en el mediano plazo

La agroindustria azucarera de Guatemala continuará siendo un sector muy importante para la economía de Guatemala, con base en su participación en el Producto Interno Bruto, como productor de azúcar, energía eléctrica y etanol; como generador de divisas; generador de empleo y por su participación en el desarrollo regional a través de programas de educación, salud y desarrollo municipal. El gran reto que enfrenta en la actualidad la agroindustria azucarera es el de utilizar un enfoque de desarrollo sostenible, como un método para ayudar a resolver la problemática de la región cañera.

En la actualidad, toda la organización gremial de la agroindustria azucarera ha utilizado este enfoque, que incluye el desarrollo económico, la responsabilidad social, la responsabilidad ambiental y la gobernanza. Para la responsabilidad ambiental se ha adoptado una política ambiental que incluye el manejo del agua superficial y subterránea, la calidad del aire, manejo de agroquímicos, manejo de aguas residuales, manejo de residuos sólidos y conservación de la biodiversidad.

Para la adaptación del cultivo de la caña de azúcar al cambio climático, Melgar y Quemé (2015), describen que la agroindustria azucarera está desarrollando una adaptación planificada, que incluye las siguientes estrategias:

- Sistema de información meteorológico y análisis climático.
- Desarrollo de variedades de caña de azúcar.
- Utilización de la biotecnología.
- Uso óptimo de fertilizantes.
- Uso eficiente del agua.
- Manejo integrado de plagas.
- Monitoreo y evaluación de sistemas. Este monitoreo incluye un sistema de información meteorológico, zonificación agroecológica, agricultura de precisión, análisis de productividad y eventos de transferencia de tecnología.

Los principales factores que pueden contribuir al aumento de la productividad son: el desarrollo de variedades, investigación industrial para mejorar la recuperación de sacarosa y agricultura de precisión.

No obstante Guatemala se ha constituido en un importante exportador de etanol, paradójicamente no se utiliza etanol como biocombustible en este país, a pesar de que Guatemala es dependiente de combustibles importados. Se espera que en el futuro se desarrolle el marco legal apropiado para que, al igual que otros países como Brasil y Colombia, se pueda sustituir parcialmente la gasolina.

Sin duda, la caña de azúcar es una materia prima importante para la producción de muchos bioproductos derivados de la sucroquímica, lo cual deberá considerarse para el mediano plazo.

## 7.7 Agradecimientos

Se agradece el valioso aporte de los siguientes profesionales de CENGICAÑA:

- Ing. Adlai Meneses: Información de producción y productividad.
- Lic. Estuardo Catalán: Información de divisas y bibliografía.
- Ing. Byron López: Alcohol.
- Ing. Mario Muñoz: Cogeneración.
- Ing. Ovidio Pérez: Cachaza y vinaza.
- Ing. Victoriano Sut: Edulcorantes.
- Dr. José Luis Quemé: Revisión.
- Licda. Priscila de Alvarado: Diagramación.

# 8

## La agroindustria cañera en Colombia



### 8.1 Resumen

Conocer el comportamiento del sector azucarero colombiano sugiere acercarse a uno de los países con el rendimiento en campo más alto de caña de azúcar, por encima de Brasil. Este capítulo tiene como propósito describir las características de una cadena productiva que le ha permitido a Colombia posicionarse en un lugar importante como productor de caña de azúcar a nivel internacional. La importancia de la actividad es resaltada mediante la descripción de las regiones productoras, la superficie sembrada y su evolución a través del tiempo, las principales agroindustrias, tanto productoras de azúcar como duales, los rendimientos actuales, actividades de innovación tecnológica que han permitido acrecentar superficie y rendimientos, entre otros. Se describe también la evolución de la actividad hasta convertirse en una industria sucroenergética. Además, se incluyen los principales retos y perspectivas actuales en temas de política azucarera, aspectos fabriles, de mercado, aspectos sociales (en el papel dentro de la sociedad de esta actividad), la producción de etanol, manejo de subproductos como el bagazo y las melazas, la cogeneración de energía y el establecimiento de biorrefinerías industriales. Los autores esperan que con la lectura de este capítulo, el lector pueda acercarse más a la actividad cañera en Colombia.

### 8.2 Dinámica de la producción de caña de azúcar

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, con áreas sembradas en 48 municipios, desde el norte del departamento del Cauca, pasando por la parte central del Valle del Cauca, hasta el sur de los departamentos de Risaralda, Caldas y Quindío. Hasta el año 2015 se registró un área sembrada de 232.070 hectáreas en los cinco departamentos antes mencionados.

La caña de azúcar fue introducida al Valle del Cauca por Sebastián de Belalcázar (1540). Durante la Colonia, la producción de panela, azúcar y mieles fue una labor artesanal hasta comienzos del siglo xx, cuando se inauguró una fábrica más moderna de propiedad del ingenio Manuelita (1901). En esta empresa se empezó a utilizar maquinaria a vapor, torre de sulfitación, filtro – prensa, evaporadores, tacho al vacío y centrífuga. Ya para 1930 había tres ingenios azucareros en el Valle del Cauca: Manuelita, Providencia y Riopaila; posteriormente comenzó una expansión regional hasta completar 22 ingenios. Después de 1940, empezaron a desaparecer los ingenios en las regiones distintas a las del Valle del Cauca y se empezó a desarrollar la mecanización del agro vallecaucano. En 1959 nació la Asociación de Cultivadores de Caña

de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA), como una respuesta a las necesidades de disponer de una entidad gremial que fuera interlocutora de todos los ingenios de la industria azucarera de Colombia.

Entre 1960 y 1969 hubo una gran expansión azucarera e inició actividades COLMIELES, como exportadora de azúcares y mieles, entidad que después cambió su nombre por CIAMSA.

En 1977 fue constituido el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA), como una corporación de carácter científico y tecnológico sin ánimo de lucro. En este mismo año nace la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA), con el objetivo de contribuir a la transferencia, divulgación y capacitación de los técnicos del sector, mediante la realización de eventos y congresos de carácter nacional e internacional.

Entre 1995 y 2005, el sector azucarero invirtió más de 120 millones de dólares en el área ambiental, lo cual se reflejó en reducciones de los niveles de contaminación. Esta gestión fue reconocida mediante el “Premio Nacional de Ecología Planeta Azul 2002 – 2003: Categoría Empresarial”.

Desde finales del año 2005, cinco ingenios azucareros (Manuelita, Mayagüez, Providencia, Incauca y Risaralda) establecieron destilerías para la producción de etanol o alcohol carburante, como respuesta a la Ley 693 de 2001, que obliga a oxigenar las gasolinas con alcohol carburante. Posteriormente, en el 2015, la empresa azucarera Riopaila – Castilla inauguró otra destilería de alcohol carburante.

Paralelamente al desarrollo empresarial azucarero se han consolidado otras empresas del sector sucroquímico como productoras de ácido cítrico, ácido acético (vinagre), acetato de etilo, entre otros. Igualmente, todos los ingenios cuentan con plantas de cogeneración de energía para atender las necesidades o requerimientos de energía propia y comercializan los excedentes.

### 8.2.1 Eficiencia productiva en campo y fábrica

De acuerdo con información del CENICAÑA, la producción de caña fue de 116.2 toneladas por hectárea en el 2015, cifra un poco inferior a la registrada en el 2014 (119 toneladas por hectárea). El rendimiento comercial (toneladas de azúcar / toneladas de caña molida) alcanzó 11.8 % en el 2015, con un incremento de 1.2 % frente a 2014.

A través de los resultados obtenidos mediante la investigación e innovación tecnológica, la agroindustria azucarera colombiana ha logrado avances importantes en la eficiencia de sus procesos productivos tanto en campo como en fábrica, que le han permitido mantener su competitividad y sostenibilidad.

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, en asociación con los ingenios azucareros y cultivadores de caña, han jugado un papel muy importante en la

innovación y desarrollo tecnológicos. De acuerdo con LMC International<sup>16</sup>, Colombia es el país con mayor productividad en el mundo, con un promedio, entre 2011–2015, de 15.5 toneladas de azúcar por hectárea. Desde su fundación, CENICAÑA inició labores para la obtención de variedades de alta productividad y resistencia a plagas, mediante su programa de mejoramiento y evaluación de variedades promisorias. Entre 1980 y 1993, la variedad MZC 74-275 era la más cultivada, pero a partir de 1999 la variedad de Cenicaña Colombia (CC) 85-92 pasó a ser la primera variedad comercial en área sembrada por la agroindustria azucarera colombiana en el valle del río Cauca.

En 2006 y 2007 se entregó a los cultivadores de caña el estudio detallado de suelos adelantado por CENICAÑA con la colaboración de los ingenios y del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cual es la base para la implementación de una agricultura específica por sitio. La agroindustria azucarera colombiana ha logrado también avances importantes en el uso eficiente del recurso hídrico, tanto para el cultivo como para los requerimientos de fábrica. De acuerdo con información de CENICAÑA, en la región azucarera se han implementado tecnologías de riego eficiente que han permitido:

- Disminuir el consumo actual de agua por ciclo de cultivo en 42 %, sin afectar la productividad, según reporte de sostenibilidad del sector azucarero colombiano del 2015-2016.
- Mantener un ahorro en el consumo de agua para riego hasta 800 m<sup>3</sup>/ha/año, basado en el balance hídrico.

De igual forma, se han venido desarrollando variedades de caña de azúcar resistentes a condiciones de déficit hídrico, las cuales pueden sembrarse en zonas o períodos secos, sin efectos negativos en la producción agrícola.

Teniendo en cuenta que el contenido de agua en la caña de azúcar es de 70 %, CENICAÑA encontró que entre el 20 % y 23 % del agua que acompaña la caña no se utiliza en el proceso. Los condensados recuperados del proceso fabril se emplean en la extracción de sacarosa (molinos), preparación de insumos, entre otros. Por otra parte, el agua captada de fuentes subterráneas y/o superficiales se emplea en la reposición de agua en los circuitos cerrados de enfriamiento, calderas y limpieza de equipos. En trabajos cooperativos entre CENICAÑA e ingenios azucareros, se logró reducir el consumo de agua en fábrica por fuentes externas en un 14 % entre los años 2013 y 2015. Esta reducción se obtuvo mediante:

- Inclusión y acondicionamiento de torres de enfriamiento para incrementar el uso de condensados.
- Mejoramiento de sistema de sellos húmedos para colección de cenizas en calderas.

<sup>16</sup> www.lmc.co.uk

- Programas de disminución de agua en labores de limpieza y lavado de equipos. Uso de agua a presión y lavado en seco.

Entre 2006 y 2015, el rendimiento comercial (tonelada de azúcar por tonelada de caña, %) se mantuvo entre 11.25 % (año 2010) y 11.97 % (observado en el 2009) con edades de corte entre 12.40 meses (años 2010–2013) y 14.60 meses (año 2009). La precipitación anual (mm) en las zonas de cultivo se mantuvo entre 934 mm (año 2015) y 1644 mm (año 2010).

### 8.2.2 Cadena de valor campo - fábrica

La cadena productiva de la caña de azúcar en Colombia incluye desde el cultivo de la caña hasta la producción de azúcar, alcohol carburante y derivados. Esta cadena se centra principalmente en dos líneas de producción: la primera corresponde a la producción de caña de azúcar y su sostenibilidad, continuando con las diferentes etapas del proceso fabril para azúcar y alcohol carburante (actualmente en seis ingenios).

Las empresas colombianas de la cadena del azúcar han orientado sus esfuerzos a incrementar su potencial en el mercado interno y externo, mediante excelentes estándares de calidad, buscando estar a la vanguardia en tecnología para campo y fábrica.

La industria azucarera colombiana, a través del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en cooperación con los ingenios azucareros, vienen realizando esfuerzos para disponer de variedades de alta productividad, con resistencia a plagas, asociados con un uso frecuente del agua, control biológico para malezas, nutrición vegetal, maduración con productos bióticos y disponibilidad de semilla sana.

Como política sectorial, a partir del 2008, los ingenios azucareros han hecho inversiones para incrementar el corte en verde, sin detrimento de las eficiencias en fábrica. Este hecho ha permitido pasar de 21 % de área cosechada en verde en el año 2008 a 49 % en 2015.

Además, de los avances en el proceso fabril, que incluye mejoramiento en los procesos de extracción (ampliación en la capacidad de molienda), clarificación, evaporación y cristalización, la generación de bioenergía en el sector azucarero colombiano, a través de la cogeneración es uno de los factores claves y estratégicos en la cadena de valor. Los ingenios emplean como combustible principal el bagazo de caña, un subproducto renovable (biomasa) proveniente de los procesos de molienda. Las últimas inversiones (2014 y 2015) realizadas por dos ingenios azucareros colombianos alcanzaron 109 millones de dólares. En el 2015, se contó con una capacidad de cogeneración de 237 MW, de las cuales 78 MW fueron vendidas como excedentes. Para el 2018 se proyecta aumentar la capacidad hasta los 337 MW, con una capacidad efectiva neta de venta de excedentes de 152 MW. Teniendo en cuenta que la demanda energética en Colombia depende del 66 % de la generación hidráulica, el sector suroenergético podría contri-

buir durante los períodos de verano en el país, en suministro de bioenergía basada en el bagazo y residuos de cosecha, lo cual se convierte en una oportunidad de generación de energía limpia para el Sistema Interconectado Nacional (SIN).

### 8.2.3 Análisis de costos

En el valle geográfico del río Cauca, el área sembrada de caña de azúcar en 2015 fue de 232,070 hectáreas, de las cuales se cosecharon 199,314. Durante este período, se procesaron 24.2 millones de toneladas de caña, éstas fueron 0.3 % inferiores al registro de 2014 (24.3 millones de toneladas). Como se mencionó, el rendimiento comercial alcanzó 11.8 % y en el balance azucarero colombiano se destacaron:

- Caídas en el volumen de producción de azúcar por los factores climáticos (fenómeno de El Niño).
- Una reducción en el volumen de importaciones de azúcar (43.6 % en 2015) en Colombia.
- Una reducción del arancel máximo que se puede aplicar a las importaciones de azúcar del 117 % al 70 %<sup>17</sup>, de acuerdo con un decreto del gobierno nacional a finales de 2015<sup>18</sup>.

Aunque cayeron las exportaciones en 9.0 % en volumen (16.9 % en dólares), por cuenta de la tasa de cambio, se incrementaron en 13.9 % en pesos. Los principales destinos de las exportaciones de azúcar colombiano, en 2015, fueron: Perú, 30 %; Chile, 17 %; Estados Unidos, 10 %; Haití, 8 %; Ecuador, 6 %; Trinidad y Tobago, 4 %, y Jamaica, 3.2 %.

El volumen de azúcar exportado a estos países representó 78 % del total. El volumen restante se destinó a otros países (52 %).

En 2015, la producción de bioetanol por parte del sector azucarero colombiano fue de 456.4 millones de litros, 12.3 % superior a la registrada en 2014. Las ventas de bioetanol durante 2015 fueron de 468.0 millones de litros, lo que significa un aumento de 11.8 % frente a las ventas registradas en 2014. Con estos datos, la producción y las ventas de bioetanol en 2015 se constituyen en un récord desde que el Gobierno nacional implementó el programa de oxigenación de gasolina a finales del

<sup>17</sup> Colombia aplica el Sistema Andino de Franjas de Precios, mecanismo que permite contrarrestar las distorsiones y la alta volatilidad del mercado internacional del azúcar. El sistema opera mediante un sistema de derechos variables que aumentan el arancel (del 15 %) en períodos de precios bajos y lo reduce en períodos de precios altos. Con este sistema el arancel puede fluctuar entre 0 % y 70 %, según el comportamiento de los precios internacionales.

<sup>18</sup> Decreto 2293 de 2015

2005. A mediados del año 2015, el Ministerio de Minas y Energía autorizó la importación de 1.9 millones de litros de etanol. Durante 2015, la mezcla etanol-gasolina fue de 8 % de etanol en todo el país, hasta el mes de julio. A partir de agosto, con la entrada en operación de otra destilería (con capacidad de 1.65 millones de litros día), el Ministerio de Minas y Energía subió al 10 % la mezcla en el suroccidente del país. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en 2014 el sector representó un 0.5 % del PIB total, 3.4 % del PIB agrícola del país y 2.0 % del PIB industrial. Para este último caso, el sector azucarero representa el 23 % en el Cauca, el 11.2 % del Valle del Cauca y el 8.2 % en Risaralda.

### 8.3 Política azucarera

#### 8.3.1 Producción de azúcar

La temporada 2014–2015 registró un superávit azucarero mundial de 2.18 millones de toneladas. Para el período 2015–2016, las proyecciones de la Organización Internacional del Azúcar (OIA) indican que el mercado mundial cambiará su tendencia y se presentará un déficit cercano a 3.53 millones de toneladas (Tabla 99).

Tabla 99. Balance azucarero mundial.

	2013–2014 (millones t)	2014–2015 (millones t)	Variación (%)
Producción	171.34	169.37	-1.15
Consumo	169.16	172.9	2.21
Superávit / déficit	2.18	-3.53	-261.79
Importaciones	55.48	57.01	2.75
Exportaciones	55.53	57.05	2.74
Existencias	85.35	81.79	-4.18 %
(% consumo anual)	50.46 %	47.30 %	-3.2 puntos porcentuales

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los ingenios azucareros y cultivadores de caña regionales, según ASOCAÑA, tienen como visión estratégica para el año 2030, tener como líder el sector azucarero colombiano en la agroindustria internacional, por su competitividad, sostenibilidad y generación de bienestar, basada en sus principios y valores, que generan una forma idónea de hacer las cosas. ASOCAÑA y sus ingenios azucareros afiliados han

realizado alianzas con diferentes organismos del Estado, para unir esfuerzos y obtener una sostenibilidad de la región. Se tiene como política, estructurar acciones para la conservación del medio ambiente, el fortalecimiento del tejido social de las comunidades, la educación y el fortalecimiento integral de un sector que “es mucho más que azúcar”.

#### 8.3.2 Importaciones y exportaciones

El balance azucarero colombiano 2006–2015 (Tabla 100), indica que el país tuvo una exportación total de 725,033 toneladas de azúcar en el 2015, con una importación de 61,718 toneladas en el mismo año. De acuerdo con las ventas de los ingenios al mercado interno, más las importaciones, se registró un consumo aparente de 1,710,439 t en el 2015, un incremento aproximado del 12.5 % con relación a las cifras del 2006. En 2015, las exportaciones de azúcar de Colombia alcanzaron un valor total de US\$313 millones.

Tabla 100. Balance azucarero colombiano entre 2006 y 2015.

Año	Importaciones (t)	Consumo aparente (t)	Exportaciones (t)	Valor total <sup>1</sup> exportaciones (t)
2006	118 269	1 497 080	887 013	301.5
2010	173 151	1 532 235	658 037	373.8
2012	306 786	1 649 564	720 569	454.5
2015	61 718	1 710 439	725 033	313.0

<sup>1</sup> Millones de US\$

Fuente: elaboración propia.

### 8.4 Diversificación de usos de la caña de azúcar

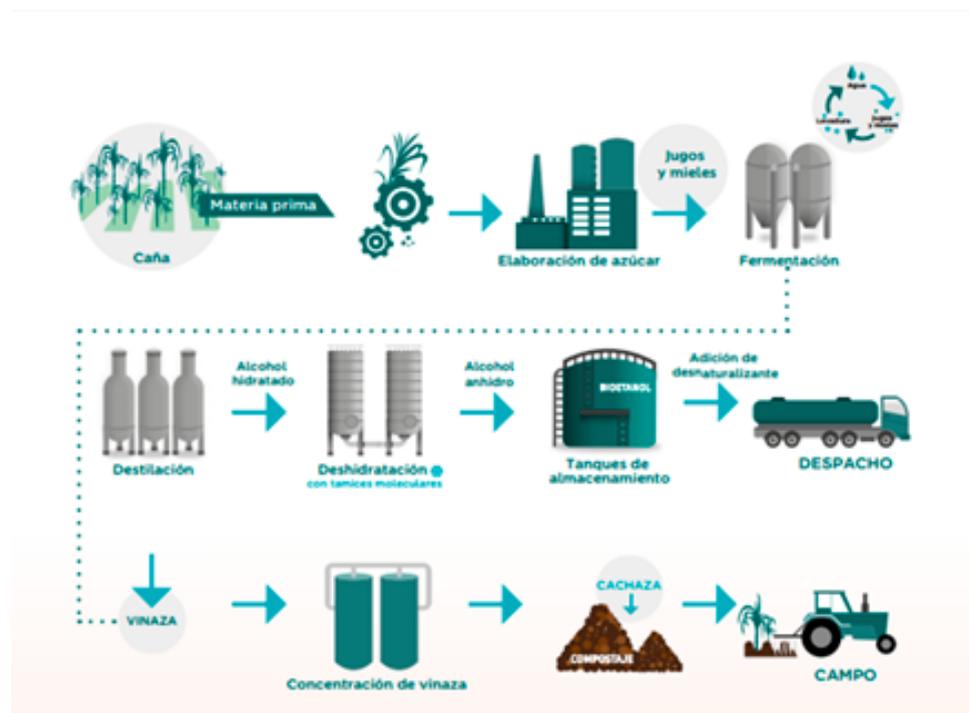
#### 8.4.1 Producción de etanol

Desde finales del año 2005, el sector azucarero colombiano inició la producción de alcohol carburante (etanol anhidro desnaturalizado) a partir, principalmente, de mieles B y meladura, diversificando su oferta de productos, así como también contribuyendo con acciones que mejoren la calidad del aire y disminuyan la dependencia de los combustibles fósiles.

Es conocido que la adición de etanol a las gasolinas disminuye las emisiones de monóxido, dióxido de carbono e hidrocarburos debido a mejoras de la combustión en los motores de los vehículos. Una característica de la tecnología adoptada en Colombia para la producción de etanol, es la menor producción de vinazas por litro de

alcohol (0.8 a 3 L de vinazas por 1 litro de alcohol) y el aprovechamiento de este sub-producto o residuo como fuente de potasio y de otros compuestos en la fertilización agrícola. El proceso general de producción de alcohol carburante es de carácter dual, o sea está vinculado a la producción de azúcar y alcohol a partir de miel B o meladura (Figura 151).

Figura 151. Proceso general de producción de etanol en Colombia.



Fuente: reporte de sostenibilidad del sector azucarero colombiano 2015-2016.

El proceso de producción colombiana del etanol garantiza un producto estable, el cual se destaca por la reducción del 35 % en el consumo de agua y del 50 % de residuos, al igual que por la sustitución de fertilizantes potásicos de origen químico.

#### 8.4.1.1 Política nacional de producción de bioetanol

En el mundo como en Colombia, los programas de apoyo a la producción de biocombustibles como el alcohol carburante, se enmarcan dentro de las políticas relacionadas con mitigación del problema de calentamiento global, seguridad energética y

apoyo al campo. Colombia se comprometió a reducir en 20 % las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 2030. Para lograr este objetivo, es necesario mantener la mezcla actual de 8 % de alcohol anhidro en la gasolina y estimular la producción para incrementar la oferta y desarrollo de mejoras tecnológicas en la obtención del alcohol carburante. El aporte en reducción de GEI que hace actualmente el bioetanol, es equivalente al 12.5 % de la meta fijada por la “Conferencia de las Partes (COP 21)”, para Colombia (reunión en diciembre de 2015 en París). Esto indica que, sin el bioetanol, los esfuerzos que debería hacer Colombia para su cumplimiento serían aún mayores.

Adicionalmente, se ha observado una relación positiva entre el uso del alcohol carburante y la reducción de emisión de gases contaminantes (Tabla 101).

Tabla 101. Impacto de la política de biocombustibles en la reducción de gases contaminantes.

Contaminante	Reducción de niveles con programa de oxigenación
Material particulado menor a 10 micras	118 269 9 %
Dióxido de azufre	26 %
Monóxido de carbono	11 %
Ozono	12 %

Fuente: Giraldo *et al* (2009) en informe anual de ASOCAÑA (2015).

Si bien no es posible diferenciar el cultivo de caña que se destina a azúcar del alcohol, debido al carácter dual de las fábricas, se puede inferir que cerca del 85 % de la caña procesada en Colombia se utiliza para la elaboración de ambos productos. Esta política y tecnología beneficia alrededor de 160, 000 de los 188, 000 empleos directos e indirectos que genera el sector azucarero colombiano.

En este contexto, se entiende que la producción de bioetanol es estratégica para países como Colombia porque genera empleo formal, beneficia el medio ambiente y reduce la dependencia de combustibles fósiles y mantiene las reservas de fuentes energéticas no renovables como el petróleo o gasolina.

#### 8.4.1.2 Mercadeo: producción y ventas de bioetanol

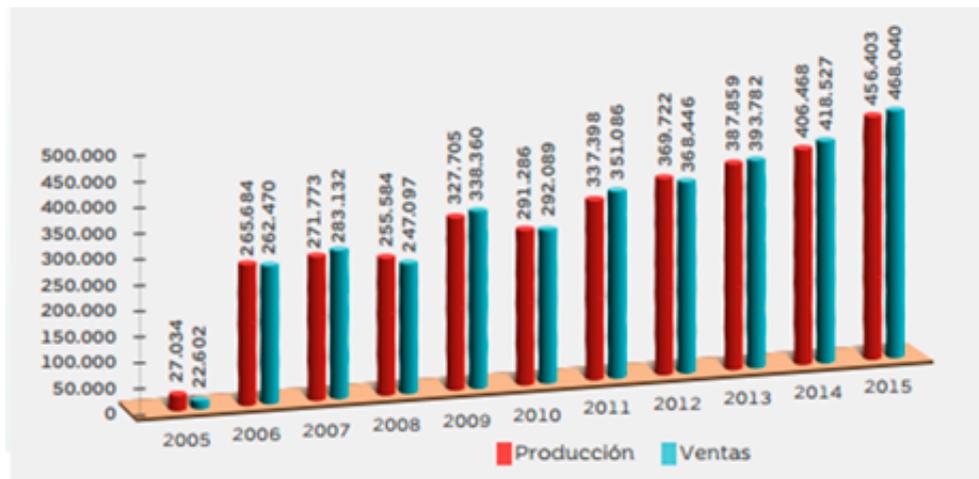
El sector azucarero colombiano se visualiza ahora como un sector sucroenergético. La primera etapa fue la inversión para la construcción de cinco destilerías de alcohol carburante entre 2004 y 2005, dentro de la política nacional enmarcada en la Ley 693 de 2001. Estas empresas de carácter dual, es decir, de producción de azúcar

y alcohol a partir de materiales del proceso azucarero, como las mieles B, posicionaron a Colombia como un gran productor de alcohol en América Latina, tercer productor después de Brasil y Argentina, de acuerdo con información de la Organización Internacional del Azúcar (OIA). La inversión inicial fue de \$US 150 millones, 30 %, de los cuales se destinaron a inversiones de carácter ambiental. En 2011 se realizaron ampliaciones en tres de las cinco destilerías, y en 2015 se colocó en marcha una nueva.

En 2015, la producción de alcohol carburante, por parte del sector azucarero colombiano fue de 456.4 millones de litros, 12.3 % superior a la registrada en 2014.

Las ventas durante 2015 fueron de 468.0 millones de litros, lo cual significa un incremento de 11.8 % frente a las ventas de 2014 (Figura 152).

Figura 152. Colombia. Balance de bioetanol (miles de litros).

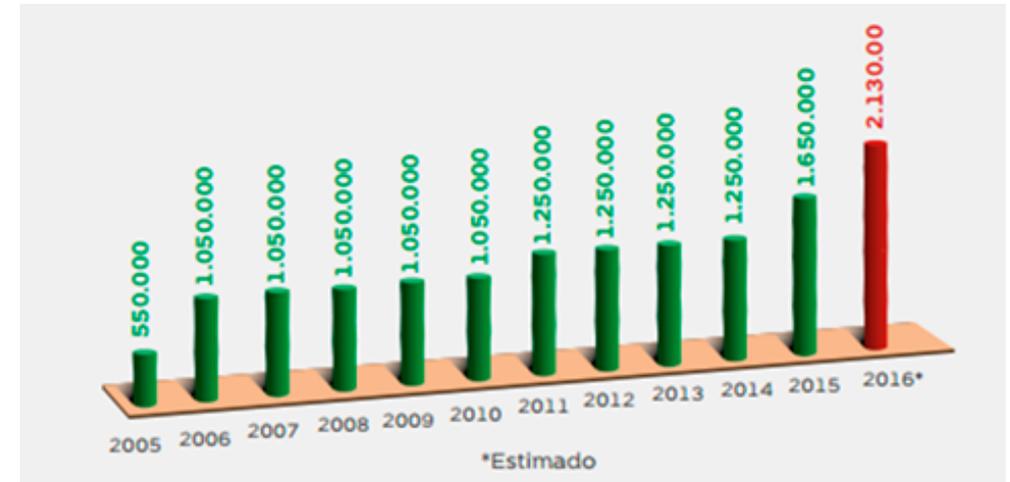


Fuente: ASOCAÑA (2015-2016).

A mediados del año 2015, el Ministerio de Minas y Energía autorizó la importación de 1.9 millones de litros de etanol, para atender la demanda de este producto en Colombia. Durante 2015, la mezcla etanol-gasolina fue de 8 % de etanol en todo el país hasta mediados de ese año. A partir de esa fecha y con la entrada en operación de una nueva destilería, con capacidad de 1.65 millones de litros, el gobierno colombiano subió al 10 % de etanol en la gasolina, que se consume en el suroccidente del país.

De acuerdo con ECOPEPETROL (empresa de petróleo y gasolina colombiana), a finales de 2016 iniciará labores de operación otra gran destilería (Bioenergy), la cual podría elevar la capacidad de producción de alcohol carburante en Colombia hasta 2.13 millones de litros por día, que representará un 29 % más que la capacidad actual (Figura 153).

Figura 153. Colombia. Capacidad instalada de alcohol carburante.



Fuente: informe ASOCAÑA (2015-2016. Ingenios y Ecopetrol).

#### 8.4.1.3 Avances y retos

##### 8.4.1.3.1 Etanol primera generación

En el mundo, la producción de bioetanol es estratégica, y para Colombia es especialmente de mucha importancia porque genera empleo formal y desarrollo, asociado a un beneficio para el medio ambiente.

Los biocombustibles, como el etanol, si bien no sustituyen completamente los combustibles fósiles, en comparación con ellos, consumen cerca de 60 % menos de energía renovable. Para el caso del etanol, la eficiencia está alrededor de 0.15 MJ de entrada de energía no renovable por 1 MJ de salida de etanol, dependiendo de la práctica agrícola y aprovechamiento de los residuos de agricultura.

La producción de etanol se puede efectuar directamente a partir de jugos y mieles, de recursos vegetales como caña de azúcar, lo cual se conoce como etanol de primera generación. Este proceso incluye las etapas de:

- Fermentación.
- Destilación.
- Deshidratación (para producción de alcohol anhidro).
- Almacenamiento.
- Aprovechamiento de sub-productos (por ejemplo, vinaza).

En el caso colombiano, la producción de etanol de primera generación, está estrechamente asociada a la producción de azúcar, conocido como proceso dual (ver Figuras 151 y 154). Además, este proceso incluye una concentración de las vinazas y su posterior aprovechamiento como mejoradores del suelo o producción de abonos orgánicos (compostaje, entre otros).

Figura 154. Esquema general de la producción de etanol de primera generación en Colombia.



Fuente: elaboración propia.

El bioetanol de caña de azúcar colombiano reduce en 74 % los gases de efecto invernadero, comparado con el etanol de caña de Brasil que reduce el 65 % de GEI y el etanol de maíz de Estados Unidos, que reduce sólo el 10 % de GEI (Estudio del Ministerio de Minas y Energía, Colombia).

La agroindustria azucarera colombiana está haciendo grandes esfuerzos para obtener una mayor sostenibilidad de las producciones de azúcar y alcohol carburante, mediante incrementos de productividad en campo y fábrica, así como reducir sus costos en todas las áreas. El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA) es fundamental en este proceso, con el desarrollo de nuevas variedades, mejoramiento genético y mejoramiento de los procesos de producción de azúcar y alcohol.

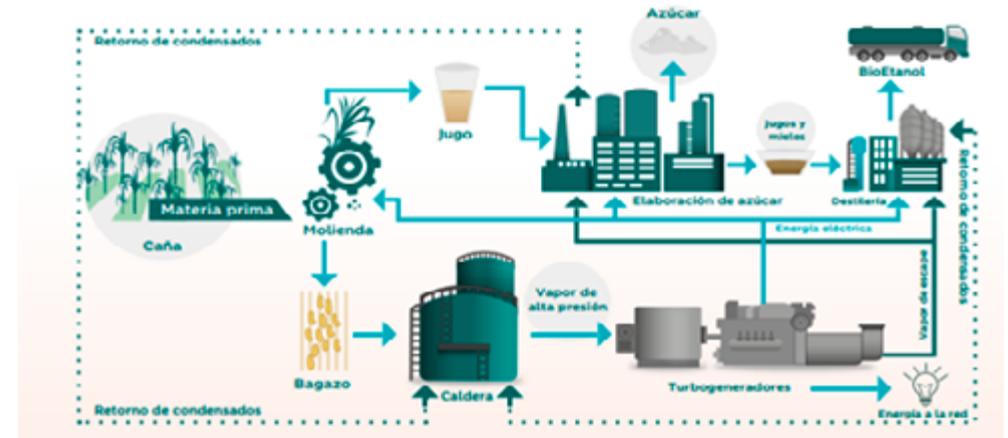
Los ingenios azucareros y sus destilerías tienen como grandes retos, además del desarrollo de nuevos productos basados en el etanol de primera generación y azúcar, realizar mejoras en eficiencia y capacidad de las fábricas tanto de azúcar como de alcohol carburante, a pesar que Colombia ostenta en el mundo el más alto índice de productividad, medido como las toneladas de azúcar por hectárea cosechada al año.

Como proyección del sector azucarero colombiano está el desarrollo y adopción de tecnologías para la producción de etanol de segunda generación, es decir, aquel que se produce a partir de materiales lignocelulósicos como el bagazo de caña de azúcar y residuos agrícolas provenientes de la cosecha de este cultivo. Para cumplir con este objetivo, CENICAÑA viene realizando investigaciones conducentes a la implementación de la producción de alcohol carburante de segunda generación.

#### 8.4.1.3.2 Bioenergía: cogeneración

La generación de bioenergía en el sector azucarero se realiza a través de la cogeneración, un proceso eficiente mediante el cual se produce en forma simultánea, energía eléctrica, mecánica y térmica (Figura 155).

Figura 155. Proceso de cogeneración.



Fuente: reporte de sostenibilidad del sector azucarero colombiano 2015-2016.

Los ingenios azucareros utilizan como combustible principalmente el bagazo de caña de azúcar, un subproducto renovable obtenido en los procesos de molienda de la caña. Este hecho contribuye a la mitigación del calentamiento global, dada la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, debido al empleo del bagazo como combustible renovable, permanente y disponible en el largo plazo.

Bajo esta forma de bioenergía se genera energía limpia para el Sistema Interconectado Nacional en Colombia (SIN), dado que la energía generada no sólo se emplea en los procesos productivos en los ingenios, sino que también se incorpora a dicho sistema en forma de excedentes (Figura 156).

Figura 156. Proceso de cogeneración en Colombia y su proyección en 2018.

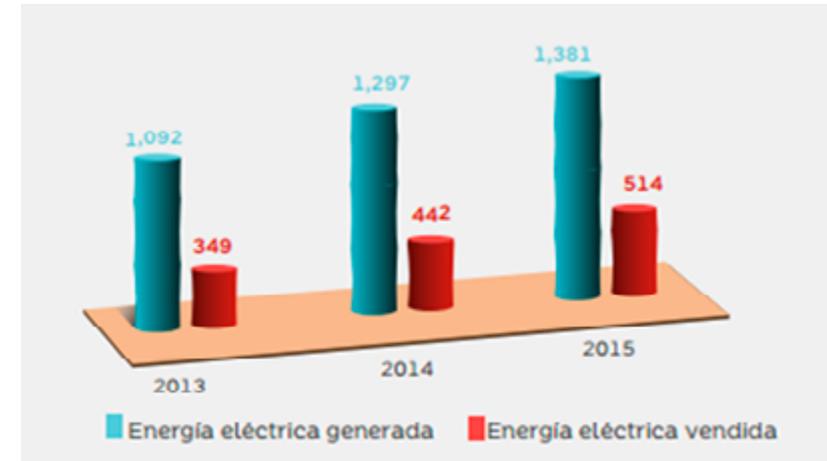


Existen doce plantas en Colombia, que cogeneran energía en el sector azucarero, las cuales aportaron en 2015 aproximadamente 1380 gwh/año, un 6.4 % más que en 2014. De estos 12 cogeneradores, 11 venden excedentes al sistema interconectado nacional. En 2015, los ingenios inyectaron 514 gwh/año, lo que representa un crecimiento del 16.3 % frente al registro del 2014 (Figura 157).

La capacidad instalada de cogeneración en Colombia fue de 237 MW en 2015, de los cuales 78 MW fueron vendidos como excedentes (Figura 156). Para 2018 se tiene una proyección de aumentar la capacidad hasta los 337 MW, con una capacidad efectiva de venta como excedentes de 152 MW (Figura 158).

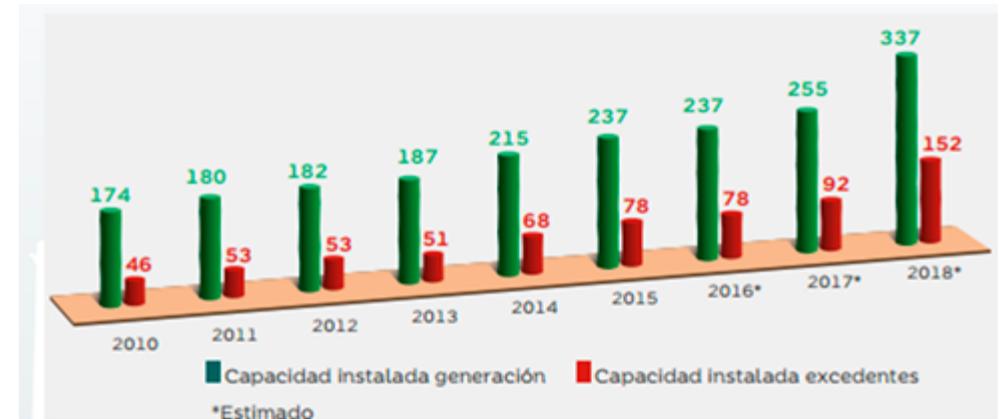
Teniendo en cuenta que la canasta energética colombiana depende en 66 % de la generación hidráulica, el sector azucarero contribuye durante los ciclos de verano en el país al suministro de bioenergía, generada a partir del bagazo obtenido de los ingenios azucareros.

Figura 157. Colombia. Generación y venta de excedentes de los ingenios 2013–2015 (Gwh).



Fuente: ASOCAÑA (2015-2016).

Figura 158. Colombia. Capacidad instalada de generación y de excedentes de los ingenios 2010–2018 (MW).



Fuente: ASOCAÑA (2015-2016).

### 8.5 Manejo de subproductos derivados del proceso de producción de azúcar

Es importante resaltar que en Colombia, a partir de la caña, se produce además de azúcar, bioetanol y bioenergía, insumos para diversas industrias, tales como vinagres, citratos (derivados del ácido cítrico) y ácido cítrico (Figura 159). Se dispone

en Colombia de una empresa sucroquímica (Sucroal), 40 empresas de alimentos, 21 empresas especializadas en el transporte de caña y bagazo, además de dos plantas productoras de papel a partir de bagazo de caña (Propal).

Por concepto de ácido cítrico, por ejemplo, en 2015 Colombia exportó 26.6 millones de dólares, de los cuales 71 % se dirigió al mercado de Estados Unidos, lo cual posicionó al país como el mayor proveedor de este producto en ese país, seguido por Brasil y México.

Figura 159. Proceso de fermentación para la obtención de ácido cítrico a partir de sacarosa.



Fuente: elaboración propia.

### 8.5.1 Bagazo

El bagazo es el residuo vegetal que se obtiene después del proceso de extracción de los jugos a partir de los tallos de la caña de azúcar. Este subproducto representa en promedio 28.3 % (cifra de 2016 en Colombia), con un mínimo de 23.6 % y un máximo de 31.7 % de la caña. Por su elevada composición de celulosa y lignina se conoce también como residuo lignocelulósico.

En general, el bagazo consiste de fibras, agua y sólidos solubles, principalmente sacarosa (Tablas 102 y 103). La fibra del bagazo está formada fundamentalmente de celulosa, pentosanos y lignina.

Tabla 102. Composición física del bagazo de caña de azúcar.

Componentes orgánicos	Fibra (celulosa) Hemicelulosa - Lignina	45-60 %
Sólidos no solubles	Tierra - Piedra Sustancias - Coloidales	2-3 %
Sólidos solubles	Ceras - Pectinas Azúcares - Ácidos grasos	2-3 %
Agua	Generada por retención y absorción	50 %

Fuente: GEPLACEA (1988).

Tabla 103. Composición química del bagazo de caña de azúcar.

	Bagazo integral	Fracción fibrosa	Fracción medula
Celulosa	45,0	47,7	41,2
Pentosanos	25,0	25,0	25,0
Lignina (Klason)	20,7	19,0	21,7
Extractos lipofílicos	2,7	2,4	2,9
Sólidos solubles (agua caliente)	4,1	3,4	4,3
Cenizas	2,6	1,4	5,5

Fuente: GEPLACEA (1988).

El bagazo, como subproducto del proceso de elaboración del azúcar, ha sido utilizado históricamente (como en Colombia), como materia prima para la fabricación de papel (Figura 160), previo tratamiento industrial de deslignificación y de blanqueo de la pasta (celulosa).

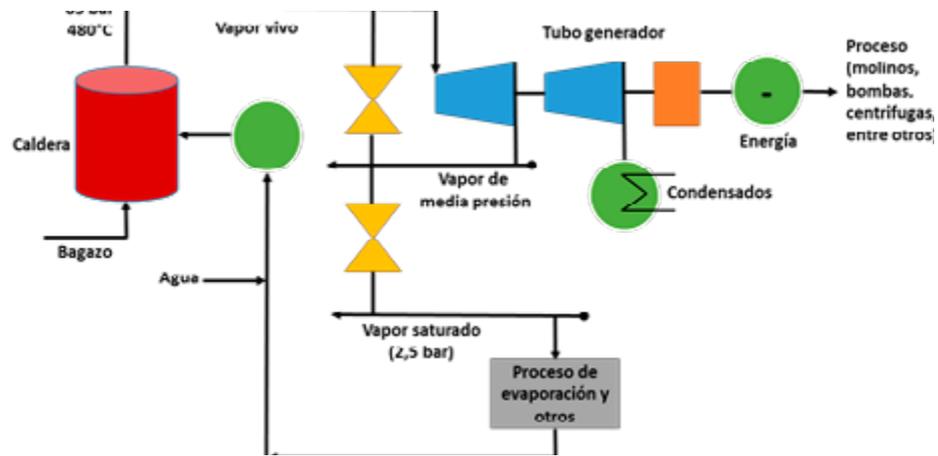
Figura 160. Escenario general para un proceso comercial de producción de papel y lignina, a partir del bagazo de caña de azúcar.



Fuente: elaboración propia.

En las empresas de azúcar (ingenios azucareros) y alcohol, se emplea el bagazo de caña como combustible en las calderas para la generación de vapor vivo, el cual requieren las turbinas en la generación de energía eléctrica. El vapor de escape que resulta, después del paso de vapor vivo en las turbinas, se emplea en otros procesos de fabricación del azúcar, como la etapa de evaporación y concentración del jugo clarificado (Figura 161).

Figura 161. Ejemplo de un diagrama de empleo del bagazo en la generación de energía, en un ingenio azucarero.



Fuente: Díez F.; Garrido N. (2015).

En la actualidad, la industria papelera mundial consume cerca del 5 % del bagazo generado por las industrias que producen azúcar a partir de caña. En Colombia, de los 6 millones de toneladas de bagazo producidas al año por los ingenios, un 85 % es utilizado como combustible, y el restante 15 % es materia prima de la industria local productora de papeles. Además, es importante mencionar el empleo de bagazo en la producción de tableros aglomerados en Colombia. Estos tableros se fabrican a partir de partículas de madera y/o bagazo unidas mediante una resina, bajo condiciones de presión y temperatura.

De esta manera, el bagazo ha llegado a ser el combustible principal de las calderas de los ingenios, con el fin de generar su propia energía para sus procesos productivos y para la comercialización de excedentes, como fue descrito anteriormente, sin desconocer su importancia y valor que representa para la industria de papel y producción de tableros aglomerados.

### 8.5.2 Melaza

La miel final o melazas, obtenidas después de la etapa de cristalización y separación del azúcar, contiene la mayoría de las No-sacarosas de la caña (Figura 162).

Figura 162. Proceso industrial para la obtención de azúcar y mieles.



Fuente: elaboración propia.

La composición de la miel final varía según los diferentes factores, tanto agrícolas como industriales. En general, los grandes componentes de la miel final, pueden distribuirse así:

- Agua: 12 %
- Glucosa: 10 %
- Fructosa: 14 %
- Sacarosa: 36 %
- Cenizas: 10 %
- Gomas y coloides: 8 %
- Infermentables: 4 %
- Otros no-azúcares: 6 %

Los carbohidratos representan casi el 60 % de los componentes azucarados de la miel final, pero su contenido puede variar de acuerdo con la hidrólisis de la sacarosa debido al pH y temperatura del procesamiento azucarero.

Entre los principales derivados o productos obtenidos a partir de la miel final o melaza de caña de azúcar, tenemos:

- El etanol (o alcohol de primera generación).
- Bebidas alcohólicas (ron, aguardiente, entre otros).
- Levadura (*Saccharomyces* sp).
- Levadura para consumo humano.
- Miel proteica.

En Colombia, la miel final se produce en una proporción aproximada de 28.6 kg por tonelada de caña, equivalente a 28.88 kg de miel final de 88 brix por tonelada de caña, con una pureza aparente de 31 %. Sin embargo, es importante mencionar que, en los ingenios duales, o sea aquellos que producen azúcar y alcohol de primera generación (alcohol carburante), generan este biocombustible a partir de miel B, en lugar de miel C. Esta miel B tiene una pureza aparente, cercana al 60 %, para un brix de 82 %.

Las mieles finales (especialmente miel C) se destina en Colombia, fundamentalmente a:

- Producción de bebidas alcohólicas (ron, aguardiente, entre otros).
- Producción de levadura para consumo humano.
- Elaboración de etanol y sus derivados: ácido acético, acetato de etilo, etcétera.
- Alimentación animal (ganadería, entre otros).

El balance de producción de melazas de los ingenios en Colombia entre 2006–2015, osciló entre 226.5 y 284.8 toneladas.

Tabla 104. Balance de melazas de los ingenios de Colombia, 2006–2015.

Año	Producción (t)	Ventas (t)	Exportaciones (t)
2006	270 205	235 647	36
2007	250 338	233 229	142
2008	226 541	218 215	0
2009	278 596	243 127	24 571
2010	239 823	228 038	0
2011	254 206	257 935	11 362
2012	243 089	231 469	0
2013	247 369	197 454	35 986
2014	284 829	184 027	102 788
2015	266 537	206 163	64 702

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, de 2006 a 2015, la mayor proporción de mieles producidas en Colombia han sido vendidas o consumidas en el mercado interno, dejando una cantidad inferior para el mercado de exportación.

### 8.5.3 Cachaza y vinaza

La cachaza o torta de filtros es un residuo que se obtiene después de la etapa de clarificación de los jugos y posterior filtración. Este subproducto contiene un gran porcentaje de material coloidal y agua (75 %), seguido de bagacillo, azúcares, ceras, arcilla (suelo o tierra) y cenizas. El contenido de sacarosa (pérdida de sacarosa en caña en este subproducto) y otros azúcares pueden oscilar entre 1.0 % y 3.5 % (base subproducto húmedo).

La composición de la cachaza, varía en cada ingenio, de acuerdo con:

- Las variedades de caña procesada.
- Tipo de cosecha: corte manual o corte mecánico.
- Época de corte: período seco o lluvioso.
- Proceso de clarificación y filtración.
- Contenido de material extraño.
- Cantidad de bagacillo añadido a los lodos, previo a su filtración.

La cachaza se ha empleado en mayor proporción como fertilizante o abono orgánico, debido especialmente a su alto contenido de fósforo, calcio y materia orgánica. Excelentes resultados en la producción de caña se han obtenido con aplicaciones de cachaza en los suelos (CENICAÑA, 1995). Igualmente, se ha utilizado la cachaza en mezclas con cenizas y vinaza (compostaje), residuos de cosecha, entre otros.

La vinaza es un residuo obtenido durante el proceso de destilación del etanol (columna destrozadora o despojadora). Está constituida principalmente por compuestos orgánicos e inorgánicos en forma de sales o sustancias disueltas en el agua que la contiene.

En general, no existen vinazas iguales debido a la procedencia de la caña, variedad, cosecha, fertilización y procesamiento fabril del azúcar y bioetanol. De quince compuestos de carácter orgánico de muestras de vinaza concentrada (65 % brix) y analizada bajo las condiciones de Colombia, sobresalieron el glicerol, el ácido aconítico, sorbitol, el ácido láctico y el alcohol furfúrico, entre otros.

En Colombia, el análisis de la vinaza demostró que el potasio es el principal componente de la fracción inorgánica, lo que lo constituye en un importante elemento mineral para la fertilización de la caña de azúcar y otros cultivos. Comparando este subproducto de la industria alcoholera con otros fertilizantes (Tabla 105), se puede concluir que la vinaza es también una buena fuente de macronutrientes y micronutrientes.

Tabla 105. Análisis de algunos fertilizantes de origen natural.

Material	%					Mg / kg			
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Cachaza	1.3	0.7	2.0	0.2	0.4	15 700	73	116	549
Pulpa de naranja	0.8-1.0	0.1	0.5	0.09	1.0	45	9	16	11
Vinaza	0.4	0.1	1.1	0.6	4.9	1 567	44	127	81
Gallinaza	1-3	1.4	2.6	0.75	2.5	325	44	315	330
Estiércol vacuno	1.6	1.2	2.2	1.1	1.8				

Fuente: Ramos A. A. (2009).

En el caso colombiano, la vinaza es tratada principalmente para minimizar los posibles efectos negativos en el medio ambiente y obtener un aprovechamiento de este residuo, mediante:

- Producción de fertilizantes líquidos: para su empleo en fertirrigación.
- Preparación de compost: para su uso, en asocio con la cachaza, en la fertilización orgánica.

La fertirrigación se realiza en varias ocasiones con vinaza concentrada (V35 a V55), la cual se genera en una proporción de 1.6–3.0 litros de vinaza por cada litro de alcohol. Esta clase de vinaza se mezcla con una fuente líquida de nitrógeno, la cual puede almacenarse durante largos períodos, sin mayor deterioro. El uso de estas mezclas reemplaza el cloruro de potasio que venía siendo utilizado en la fertilización de cultivos como el de la caña de azúcar.

Para la preparación del compost se emplean: vinaza concentrada (aproximadamente 35 % brix) y cachaza con un contenido de 50 % de humedad, proveniente de la fábrica de producción de azúcar. Para la elaboración del compost se emplean 1.6–1.8 toneladas de vinaza (V20–V35) por cada tonelada de cachaza (Ramos, 2009).

La utilización de la vinaza y cachaza como fertilizantes o abonos:

- Ahorra divisas (importación de otros fertilizantes).
- Pasan de ser efluentes o contaminantes a ser productos comerciales de valor agregado.
- Genera empleo.
- Permite una recirculación de los nutrientes en el sector cañicultor (suelo • planta • procesos fabriles • residuos • suelo).

## 8.6 El mercado de los edulcorantes diferentes al azúcar de caña

### 8.6.1 Producción de edulcorantes utilizados en la industria alimentaria

Los edulcorantes utilizados en la industria de alimentos o bebidas no alcohólicas, están divididas en dos grandes grupos:

- Edulcorantes naturales o nutritivos o calóricos.
- Edulcorantes artificiales o no nutritivos o calóricos.

Los edulcorantes naturales o nutritivos han tenido marcada preferencia desde épocas ancestrales, tales como la miel de caña, la miel de abejas, el azúcar de caña o remolacha azucarera, la panela, entre otros.

El azúcar de caña, se comercializa especialmente en Colombia como:

- Azúcar morena: se obtiene del jugo de caña sin refinar.
- Azúcar blanco: azúcar con 99.5 % de sacarosa.
- Azúcar refinado: azúcar altamente puro, es decir, entre 99.8 y 99.9 % de sacarosa.
- Azúcar orgánica: azúcar que se obtiene del jugo de caña culti-

vada de acuerdo con normas nacionales e internacionales para cultivos orgánicos.

- Azúcar “light”: mezcla de azúcar blanco y otros edulcorantes naturales como “estevia” o artificiales (no calóricos).

Los esteviósidos son endulzantes de origen también natural, que se obtienen de una planta llama Estevia, originaria de Paraguay y Brasil. Los glucósidos de esta especie endulzan 250 veces más que el azúcar y es apto para diabéticos. Actualmente, se comercializa la estevia en Colombia sólo en sobres, bolsas o en mezclas con azúcar blanco, bajo la denominación de “Azúcar light”, la cual ya no es apto para diabéticos, pero que indica la presencia de menos calorías de las habituales.

Los edulcorantes artificiales (no nutritivos o calóricos) han ganado espacio como herramientas de la dieta, ya que proporcionan el sabor dulce del azúcar, por lo tanto han sido recomendados por el sector médico, especialmente para personas diabéticas.

Algunos de los edulcorantes artificiales más populares en el mercado, en Colombia, hoy en día son:

- Splenda (sucralosa)
- Sabro (aspartame)
- Estevia
- Acesulfame de potasio (también conocido como – acesulfame K)

## 8.6.2 Propiedades y consumo de algunos edulcorantes diferentes al azúcar

### 8.6.2.1 Panela

La panela consiste de una fuente inmediata de energía, puesto que su principal ingrediente es el azúcar de la caña de azúcar, en forma de un sólido amorfo, no de azúcar cristal. La producción se caracteriza por ser realizada en pequeñas explotaciones campesinas (agroindustrias rurales). Colombia ocupa el segundo puesto a escala mundial como productor de panela, después de la India. El consumo de panela en Colombia por habitante es, en promedio, de 24.7 kg al año, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural (MADR, 2012).

Se calcula que existen aproximadamente 50,000 trapiches en América Latina que emplean alrededor de un millón de personas. La caña panelera es cultivada en 27 departamentos de Colombia, principalmente en: Boyacá, Santander (Norte y Sur), Valle, Huila y Nariño.

En la producción de panela los productores rurales participan en el proceso de producción de caña de azúcar, procesan la panela y venden el producto final en las plazas de mercado y en algunos casos en supermercados o almacenes de cadena de distribución y venta de alimentos.

El proceso general de producción de panela se presenta en la Figura 163.

Figura 163. Proceso general de producción de la panela.



(Nota: No existe en este proceso un proceso de cristalización como sucede en la producción de azúcar).  
Fuente: Fedepanela (2012).

La producción de panela se destina principalmente al consumo doméstico. Así, por ejemplo, entre el 2003 y 2007 se registró una producción y venta de panela (Fedepanela, 2012), como sigue:

Tabla 106. Producción y consumo de panela en Colombia.

Año	Cantidad producida (barra o bloque de aprox. 0.5 kg)	Cantidad vendida (barra o bloque de aprox. 0.5 kg)
2004	27 572 198	27 418 986
2005	25 359 781	24 740 567
2006	23 330 697	23 153 672

Fuente: elaboración propia.

Se observa que la cantidad vendida de panela ha venido disminuyendo en la misma proporción que su producción. Esta disminución en las ventas de panela puede ser explicada por el cambio de preferencias y hábitos alimenticios de los consumidores. Adicionalmente, se afirma que el consumo de panela está siendo desplazado por otros productos sustitutos directos como el azúcar y los edulcorantes artificiales, e indirectos como las bebidas gaseosas y los refrescos artificiales de bajo valor nutritivo o calórico. La panela está perdiendo gradualmente su participación en la canasta de alimentos de los colombianos, especialmente en la de hogares de ingresos medios y altos.

### 8.6.2.2 Productos sustitutos del azúcar

De acuerdo con la demanda y consumo de azúcar, este producto podría sustituirse en Colombia por panela, azúcar light y edulcorantes artificiales como el aspartame (sabro), splenda (sucralosa), estevia, entre otros. Sin embargo, de acuerdo con el Centro Nacional de Productividad (2002), a pesar de que la splenda, el aspartame y otros edulcorantes han aumentado su penetración en el mercado interno, su actual participación en el mercado total aún es reducida.

Por otra parte, tanto estos productos como el azúcar cuentan con características fisicoquímicas y precios que no son comparables y que por ende no serán considerados como sustitutos por la población con bajos ingresos.

Entre los principales edulcorantes utilizados en la industria alimentaria o bebidas de “dieta”, o bajos en calorías o con bajo contenido de azúcar (azúcar light) empleados en Colombia, como ya se señaló, están:

- Sacarina de sodio
- Aspartame (sucralosa)
- Estevia
- Sucralosa (splenda)
- Acesulfame potásico (acesulfame K)

Las propiedades y características de estos sustitutos del azúcar, son como sigue:

**Sacarina.** Se trata de un edulcorante artificial, descubierto en 1879 por Constantin Fahlberg (químico alemán). Es una sulfamida que es aproximadamente 300 veces más dulce que el azúcar, de lenta absorción y excreción por vía renal. Su mala reputación se debió a un grupo de investigadores en los años 70, que encontró una asociación entre cáncer de vejiga e ingesta de este edulcorante, pero en 1999, tras varios nuevos estudios, su empleo y licencia de producción fue aprobada. No obstante, este edulcorante artificial es de muy bajo consumo en Colombia, con relación a los otros.

**Aspartame.** Fue descubierto en 1965 por James M. Schlatter, de forma accidental. Es un éster metílico del dipéptido de los aminoácidos: aspártico y fenilalanina, 180 veces más dulce que el azúcar. Es un edulcorante que no está recomendado para personas “fenilcetonúricos”, o sea para aquellas que no pueden metabolizar la fenilalanina. Fue aprobado con algunas restricciones por la FDA en 1980, las cuales se anularon en 1986. En la actualidad, se consume moderadamente en Colombia dentro de los sustitutos del azúcar, particularmente para personas diabéticas.

**Acesulfame potásico.** Fue descubierto en 1967 por Hoechst AG. Es un derivado del acetoacético y es la sal de potasio del 6-metil-1,2,3-oxatiazina-4 (3H) – 1,2,2 – dióxido. Es 160 a 220 veces más dulce que el azúcar. En Colombia, se emplea principalmente como mezclas con otros edulcorantes no calóricos, en la producción de bebidas de “dieta” o bajas en calorías.

**Sucralosa (splenda).** Es un edulcorante artificial de buen consumo en el territorio colombiano. Fue descubierto en 1976 y aprobado posteriormente por la FDA. Es el único endulzante fabricado a partir de azúcar (o sacarosa). Es un producto tricolorado de la sacarosa, obtenido por la halogenación selectiva de la molécula de sacarosa; es de 500 a 700 veces más dulce que el azúcar, sin ningún aporte calórico y alta solubilidad en agua. No se acumula en el cuerpo y se elimina después de su consumo en las heces y orina. La gran estabilidad de este edulcorante artificial, derivado de la sacarosa, lo hace apto para procesos de cocción y horneado. El consumo de sucralosa en forma libre o en mezclas con el azúcar (azúcar “light”) es aproximado a 9 mg/kg/día (1 sobre de splenda de 1 gramo contiene 11.9 mg de sucralosa).

**Estevia.** La *Stevia rebaudiana* B., es un arbusto de la familia de las Asteraceae, nativa del Paraguay. En 1931 los químicos franceses Marc Bridel y R. Lavielle lograron aislar los glucósidos (esteviósidos), que son hasta 300 veces más dulces que el azúcar y no contienen calorías. Actualmente, el mercado de la estevia se desarrolla principalmente en el área de alimentos (edulcorantes no calóricos y saborizantes).

Ante la creciente demanda de productos light, la estevia ha tomado un sitio muy importante en la canasta familiar colombiana. Se emplea como edulcorante de mesa, en la elaboración de bebidas, dulces, mermeladas, pastelería, entre otros. Igualmente, se emplea en mezclas con azúcar blanco, como azúcar “light” o de bajas calorías.

La producción mundial de estevia es de entre 100,000 y 200,000 toneladas, siendo China y Paraguay los principales países productores, con aproximadamente 75 % y 8 %, respectivamente. Otros países productores en América son: Brasil, Argentina, Bolivia, Colombia, Perú.

Para el exportador colombiano, la producción de estevia presenta un nuevo panorama, con regulaciones a su favor, para un consumidor global, cada día más preocupado por el consumo de productos no calóricos. En 2008, el mercado de la estevia tuvo un valor de US\$ 52 millones dentro del mercado de los edulcorantes, cuyo valor fue de US\$ 1300 millones.

## 8.7 Perspectivas de la agroindustria cañera nacional en el mediano plazo

Las líneas estratégicas de la agroindustria cañera en el mediano y largo plazo están alineadas con las políticas del Estado colombiano, dentro del marco de una agricultura sostenible que contribuya a la conservación del medio ambiente, el fortalecimiento del tejido social de las comunidades, la educación, la salud y el fortalecimiento de un sector que es “mucho más que azúcar”, según lo ha expresado el Dr. Luis Fernando Londoño Capurro, Presidente de ASOCAÑA (2015-2016).

Hoy, el sector azucarero colombiano presenta trece aportes a la sostenibilidad de la región, como resultado de las siguientes líneas de desarrollo:

- Mitigación del cambio climático
  - o Producción de biocombustibles
  - o Desarrollo de nuevas variedades
  - o Incremento del corte en verde
- Desarrollo de energías alternativas
  - o Bioenergía: cogeneración
  - o Bioetanol
  - o Consumo energético sostenible
- Generación de empleo formal y estabilidad en la economía regional
- Uso de forma eficiente y sostenible de recursos hídricos
  - o Uso eficiente del agua en el cultivo
  - o Uso eficiente del agua en la fábrica
- Protección y conservación de las cuencas hidrográficas
- Conservación de los recursos naturales
- Innovación y desarrollo en todas las áreas de operación de la agroindustria regional
- Fortalecimiento en la construcción del tejido social
  - o Programas de familias con bienestar
  - o Programas en comunidades rurales
- Erradicación del trabajo infantil
- Formación y educación de las comunidades
- Buenas prácticas del transporte de caña
- Maduración de la caña
  - o Desarrollo de nuevas variedades
  - o Fertilizantes foliares y nuevos maduradores químicos
- Proyectos de inversión en el mejoramiento ambiental

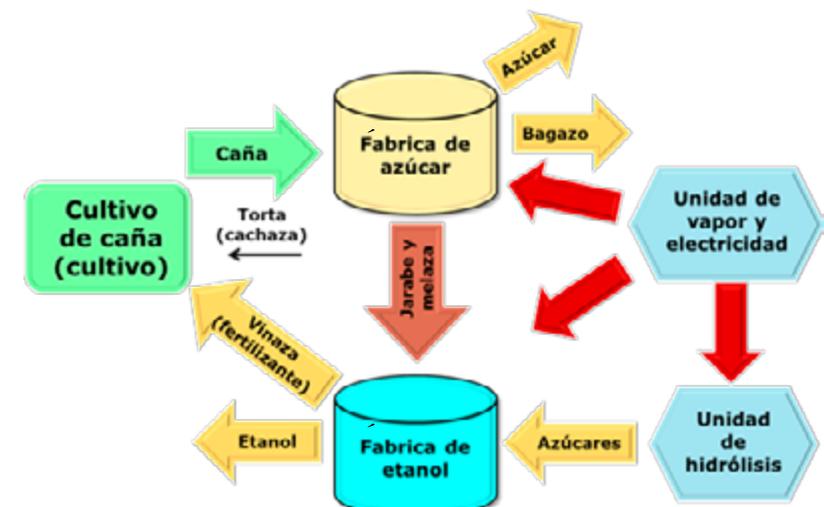
Adicional a los proyectos que se adelantan bajo la dirección de ASOCAÑA y CENICAÑA, los ingenios azucareros han realizado y están realizando importantes inversiones para

mantener una agricultura sostenible, desarrollo y transferencia de nuevas tecnologías relacionadas con la producción de azúcar, bioenergía, alcohol carburante y nuevos productos.

A mediano y largo plazo, el sector azucarero colombiano tiene como perspectivas:

- Impulsar la producción de polímeros biodegradables (bioplásticos).
- La integración de procesos de conversión de biomasa en: combustibles, bioenergía (cogeneración y alcohol de segunda generación) y productos químicos, bajo el concepto de biorrefinería (Figura 164).

Figura 164. Concepto de biorrefinería integrado al proceso azucarero.



Fuente: Larrahondo, J. E., et al (Libro Derivados de la Caña – 2015), Nuñez J. P., Barroso M. (2004).

En general, las biorrefinerías industriales han sido identificadas como el camino más prometedor para la creación de una industria sostenible basada en el aprovechamiento de sus recursos y de la biomasa lignocelulósica.

# 9

Etanol de caña:  
¿la mejor opción para sustituir  
los combustibles fósiles?



### 9.1 Resumen

Mientras que en varios países del mundo la industria de los biocombustibles se desarrolla rápidamente, en México aún no se tiene claridad sobre la conveniencia o no de producir y usar el etanol y el biodiésel como combustibles. Una visión a corto plazo señalaría que los bajos precios del petróleo en el mercado mundial dejan fuera de competencia el uso del etanol como combustible y limitan el crecimiento del uso de la caña de azúcar para producir etanol; no obstante, el desarrollo histórico de la agroindustria que procesa la gramínea cuenta con claras evidencias de la conveniencia de diversificar el aprovechamiento de la caña de azúcar para asegurar su viabilidad económica y evitar depender de la venta de un solo producto: el azúcar. En un escenario mundial de volatilidad de los precios del azúcar, la disminución de su consumo por efecto sustitución, así como el potencial de los biocombustibles para reducir las emisiones de gases efecto invernadero y las variaciones del precio de los hidrocarburos, son fenómenos que hay que considerar en una estrategia de diversificación del aprovechamiento de la caña de azúcar para asegurar su viabilidad económica y social.

En este capítulo se analiza el contexto internacional y regional de la situación actual de los combustibles y las áreas de oportunidad del etanol como biocombustible, enfatizando mediante estudios de caso para Brasil y Colombia. Se efectúa también un análisis de costos de producción de etanol en Estados Unidos, Brasil y México para referir las perspectivas competentes de la agroindustria.

### 9.2 Introducción

En el mercado mundial, las variaciones del precio del etanol y de las principales materias primas usadas para su elaboración (caña y maíz) no han limitado el incremento de la producción y consumo del biocombustible. La experiencia de Brasil es relevante en la medida que han sabido combinar el uso de la caña para producir azúcar y etanol; los resultados a largo plazo muestran una agroindustria fuerte, que no depende de los altos precios del azúcar o del etanol para su estabilidad económica.

En Estados Unidos y Brasil, el crecimiento de la producción y usos de biocombustibles no se ha detenido con las amplias variaciones de los precios de las materias primas. Por ejemplo, en el mercado norteamericano la producción de etanol se triplicó entre 2002 y 2008, pasando de 10,600 a 34,000 millones de litros al año. En Estados Unidos la producción de etanol superó los 63 mil millones de litros en 2015 (USDA, 2015). Por su parte, ese mismo año Brasil superó 27 mil millones de litros

anuales de alcohol anhidro e hidratado. Entre 2002 y 2015, los precios del maíz variaron en un rango de \$2 a \$5.2 dólares por bushel, mientras que el precio de la caña de azúcar varió ampliamente conforme se movieron los precios internacionales del azúcar. Estos cambios en los precios no han sido limitantes para el crecimiento del consumo de biocombustibles.

Para las condiciones de México, y tomando en cuenta la experiencia internacional, en este capítulo se analiza la situación actual, la problemática y las alternativas para la producción y uso del etanol anhidro en México. Se discuten los aspectos económicos y de política pública relacionados con la producción de caña de azúcar para la elaboración de etanol anhidro y su incorporación en mezclas con gasolina.

La modernización tecnológica de la agroindustria de la caña de azúcar en México implica moverse desde un modelo de aprovechamiento energético tradicional, en donde la eficiencia es de apenas 39 % de la energía contenida en la caña, frente a 71 %, con sistemas modernos.

Para aprovechar esta oportunidad, se requiere de una política integral que detone la producción y uso de etanol en México, en una primera etapa para sustituir las importaciones de oxigenantes derivados del petróleo, como el MTBE (Éter metil ter-butílico o metil terbutil eter), y en la segunda etapa, para mezclas con las gasolinas que sustituyan parte de las importaciones del combustible automotor.

Los montos de las inversiones necesarias son importantes y requieren de estímulos fiscales como ha ocurrido en Brasil, Colombia, Estados Unidos y en varios países donde la producción y uso del etanol es una realidad.

En este sentido, las acciones de política pública en materia de bioenergéticos y, en particular, para la producción y uso de etanol, deberán realizarse de manera conjunta para que se garantice el éxito de su aplicación.

La producción y uso de los biocombustibles ha generado controversia entre sus detractores y los promotores en diferentes partes del mundo, sin embargo, esto no ha sido un factor limitante para su desarrollo. Un número cada vez mayor de países se incorpora al mercado de los biocombustibles y usan para su producción, materias primas que son realmente abundantes en cada país.

Los promotores afirman la necesidad impostergable de diversificar las fuentes de energía, especialmente para el transporte, la reducción de gases efecto invernadero al quemar menos combustibles fósiles y la generación de empleo en el medio rural. Los detractores señalan por su parte, los riesgos inherentes al destinar mayor cantidad de materia prima para los combustibles en lugar de fortalecer su uso como comestibles, además de los riesgos propios de un manejo inapropiado de los recursos naturales.

Las ventajas y oportunidades que tiene o puede desarrollar cada país para posicionarse en el ámbito de los biocombustibles es de naturaleza multifactorial, pero además muchos de estos factores son muy dinámicos, de ahí la dificultad para definir los planes, programas y proyectos para tomar decisiones sin correr algún riesgo en el

orden ambiental, de seguridad alimentaria, o en aspectos económicos y sociales o de tipo presupuestal; lo importante es medir el riesgo y minimizar los posibles impactos negativos que afecten la sostenibilidad de los proyectos.

El informe “Hacia la producción y uso sustentable de los recursos: evaluación de los biocombustibles”, difundido a finales de 2009 por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)<sup>19</sup>, señala que es necesario un enfoque mucho más sofisticado para el análisis del desarrollo de los biocombustibles, como una opción de energía limpia. El Grupo Internacional para la Gestión Sostenible de los Recursos indica que algunos biocombustibles de primera generación, como el etanol de caña de azúcar, pueden tener efectos positivos en términos de emisiones de gases efecto invernadero.

En efecto, los factores a considerar para tomar decisiones, en materia de promoción y desarrollo de biocombustibles, deberán considerar los posibles impactos en la estructura de la agricultura y los mercados que abastecen, la seguridad alimentaria, el desarrollo rural, la biodiversidad y el manejo de recursos naturales, así como las implicaciones para el cambio climático, entre otros.

### 9.3 Contexto internacional

A escala mundial, los países se están enfrentando a las consecuencias de una distribución desigual de los recursos fósiles. También, en muchos de estos países la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero es una prioridad política.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2015), los combustibles fósiles son la fuente más importante de energía a nivel mundial, donde el petróleo representa más del 31 % de la producción energética en el mundo. El carbón se encuentra en segundo lugar (≈29 %), seguido del gas natural (≈21 %), madera, carbón vegetal, y otros biocombustibles (≈10 %), energía nuclear (4.8 %), y energía hidroeléctrica (2.4 %); asimismo, otras fuentes renovables de energía, como la energía geotérmica, solar y eólica (1.2 %). Las cuatro fuentes principales de energía contribuyen directamente a la emisión de gases de efecto invernadero, factor principal del calentamiento global.

El cambio climático está provocando alteraciones en los sistemas de producción tradicionales y en la propia geografía agrícola global, de tal manera que este siglo podría ver un escenario distinto, el cambio de una economía basada en los combustibles fósiles a otra, con base en la bioenergía, donde la agricultura y la silvicultura serán las principales fuentes de biomasa para elaborar biocombustibles, tales como el bioetanol y el biodiésel.

<sup>19</sup> UNEP (2009) Towards Sustainable production and use of resources. Assessing Biofuels. October, 2009. www.unep.fr

Los principales cultivos energéticos, es decir las plantas cultivadas *ex profeso* para obtener energía son: caña de azúcar, remolacha, sorgo dulce (o forrajero), maíz, palma de aceite y colza, entre otros, así como diversos pastos. También se pueden usar diferentes subproductos agropecuarios para convertirlos en recursos agroenergéticos.

La elaboración de etanol a partir de caña de azúcar puede hacerse directamente usando el jugo de la caña, como ocurre en Brasil en las destilerías independientes o también, con mayor frecuencia, el etanol se puede obtener usando una combinación de jugo y mieles intermedias en las destilerías anexas a los ingenios azucareros. El etanol se produce de mieles finales de caña (melazas), como sucede en las destilerías tradicionales instaladas en los ingenios azucareros de México y en varios países de Centro y Sudamérica.

En la actualidad, el biocombustible más abundante es el etanol. El etanol como carburante es utilizado como aditivo en las gasolinas, permitiendo una mayor oxigenación de los hidrocarburos y reduciendo las emisiones de monóxido de carbono, compuestos aromáticos y compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera, todo ello en beneficio del medio ambiente.

Los biocombustibles en México pueden contribuir a la sustitución de los combustibles fósiles importados (las gasolinas) y a la diversificación de las fuentes de energía, con el consiguiente fortalecimiento de la seguridad energética nacional. Así, los cultivos energéticos pueden formar parte de cadenas de producción agrícola y biorrefinerías muy especializadas y diversas, de las cuales podría obtenerse una serie de productos biológicos, además de bioenergía, factor importante para su competitividad económica<sup>20</sup>.

En México, no obstante la existencia de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (DOF, 01-02-2008), el Programa de Introducción de Bioenergéticos (SENER, 2008), el Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico (PROINBIOS) 2009-2012 (SAGARPA, 2008), el estudio “Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiésel para el transporte en México” (SENER-BID-GTZ, 2007), además de diversos trabajos sobre el tema, la producción de etanol anhidro es incipiente. El PROINBIOS, impulsado por la SAGARPA (2008), identificó 15 proyectos, sin embargo, hasta finales de 2015, sólo dos ingenios del país tienen la infraestructura para producir el etanol anhidro y se han construido dos destilerías independientes.

El marco jurídico y regulatorio, así como los lineamientos intersecretariales de política pública son necesarios pero insuficientes para promover y desarrollar la producción y uso de etanol en las gasolinas. Faltan acciones concretas para detonar las inversiones requeridas en el campo cañero para elevar la producción de caña, así como

la productividad y competitividad del sector en su conjunto. Se requiere producir más caña y a menor costo. Los ingenios también necesitan urgentemente inversiones para aumentar y modernizar su capacidad, especialmente para mejorar sus balances energéticos y recuperar más biomasa de la caña.

Por el lado de la demanda, el único facultado para realizar la mezcla de etanol con la gasolina es PEMEX. La paraestatal publicó una licitación en 2009 con el propósito de adquirir etanol anhidro para mezclarlo con gasolinas; sin embargo, el ganador desistió de la firma del contrato de abastecimiento. En 2011, PEMEX lanzó una nueva convocatoria para adquirir etanol, y las dos ofertas aceptadas técnicamente, fueron rechazadas económicamente. El problema en estos fallidos intentos radica fundamentalmente en el precio que PEMEX ha ofrecido pagar por el bioetanol. Un precio por abajo de aquel que estarían dispuestos a vender los oferentes. El precio de compra ofrecido por PEMEX en 2011 fue de \$ 8.20 por litro, lo que hizo inviable el negocio.

Los requerimientos de oxigenantes de PEMEX Refinación representan una buena oportunidad para detonar los proyectos de bioetanol en los ingenios azucareros del país, lo cual llevaría a una mayor actividad en el campo cañero, mayores inversiones en las fábricas, más empleo en las zonas rurales y el consecuente ahorro de divisas al dejar de importar MTBE para oxigenar las gasolinas que distribuye PEMEX. Por otra parte, el mercado de los Estados Unidos representa una gran oportunidad para el etanol producido en México.

Para la agroindustria de la caña de azúcar en México, las circunstancias actuales de precios bajos del azúcar, el excedente de azúcar y la tendencia a la disminución del consumo per cápita del edulcorante son elementos que obligan a redimensionar la actividad a largo plazo; los excedentes de caña de azúcar podrían canalizarse para diversificar su aprovechamiento, especialmente para producir etanol combustible.

La modernización tecnológica de la agroindustria de la caña de azúcar en México implica moverse desde un modelo de aprovechamiento energético tradicional, en donde la eficiencia es de apenas 39 % de la energía contenida en la caña, contra 71 % con sistemas modernos (García, 2006).

Para aprovechar esta oportunidad se requiere de una política integral que detone la producción y uso de etanol en México; en una primera etapa para sustituir el uso de oxigenantes derivados del petróleo que se importan y, en la segunda, para mezclas con las gasolinas que sustituyan parte de las importaciones del combustible automotor.

La política integral que se perfile deberá tomar en cuenta las condiciones particulares de la agroindustria de la caña de azúcar en México, especialmente en lo que se refiere a la producción de caña, dado que, en la estructura de costos de producción del etanol anhidro, la materia prima ocupa un alto porcentaje de participación.

Así, en este trabajo se presenta un análisis de las características de la producción de caña de azúcar en México, en especial lo relacionado a sus costos de pro-

<sup>20</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Presentación de la Plataforma de Bioenergía (IBEP). Roma, 2006.

ducción y las posibilidades de reducirlos para hacer competitiva esta materia prima como insumo para el etanol. También se analiza la estructura de costos de producción de etanol en Brasil y Estados Unidos de América, con la finalidad de tener un referente para las condiciones de México.

#### 9.4 Principales países productores y consumidores de biocombustibles

Hasta hace pocos años, los programas para la producción de biocombustibles –con excepción de Brasil– nunca habían llegado a niveles importantes con base en los aspectos energéticos o ambientales. Sin embargo, los factores energía y medio ambiente han ganado un lugar preponderante en la discusión internacional, a raíz del aumento de los precios del petróleo, las crecientes preocupaciones por la seguridad energética y el calentamiento global.

Brasil es el referente internacional del precio de etanol a partir de caña de azúcar, por ello se analiza su estructura productiva y sus costos de producción.

Estados Unidos es el principal productor de etanol en el mundo, la materia prima usada es el maíz y es también el principal consumidor del biocombustible; para México significa un mercado potencial si los precios relativos son favorables al producto mexicano.

En México, la producción de etanol es incipiente, se han instalado dos plantas para producir el biocombustible, una dentro del área de influencia del ingenio Adolfo López Mateos, en Oaxaca, y la otra a unos pocos kilómetros del ingenio El Potrero, en Veracruz. Dos ingenios azucareros cuentan con instalaciones para deshidratar el alcohol etílico y producir etanol (ingenio La Gloria y San Nicolás, ambos en Veracruz). Por otra parte, se tiene conocimiento de tres proyectos para la instalación de plantas de etanol, uno que se desarrolla en el sur de Veracruz, en el municipio de Atoyac estación Juanita; el segundo en la costa de Jalisco, en el municipio de Tomatlán, y el tercero, que impulsa el desarrollo de 15 mil hectáreas de caña de azúcar, en el municipio de González, Tamaulipas. Existen otros proyectos en desarrollo para la producción de bioetanol a partir de otros insumos como sorgo en grano y agave. También es necesario señalar que en Sinaloa se instaló una planta de etanol a partir de maíz, la cual no ha operado debido a que la legislación vigente limita el uso de maíz para la producción de etanol en México (Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, DOF 01-02-2008).

##### 9.4.1 Políticas de apoyo

Estados Unidos de América. El etanol producido a partir de recursos renovables tiene una larga historia de apoyos desde la Casa Blanca y el Congreso de los Estados Unidos. En 1973, Estados Unidos sufrió su primera crisis energética causada

por fuerzas internacionales. Con el embargo del petróleo árabe de 1973, los estadounidenses presenciaron los efectos de la dependencia del petróleo importado: largas filas en las gasolineras, pérdida de productividad, reducción de reservas, recesión económica y, en general, incertidumbre económica.

La primera respuesta del Congreso a la crisis petrolera fue la Ley de Impuestos a la Energía de 1978 (Energy Tax Act of 1978). Ésta fue diseñada para estimular el crecimiento de las gasolinas hechas con petróleo crudo mezcladas con 10 % de etanol, para lo cual se planteó una exención de impuesto de cuatro centavos por galón a estas gasolinas alternativas.

En 1979, después de otra crisis, la crisis de los rehenes iraníes, y el embargo de EUA de granos de la Unión Soviética, el congreso continuó con los esfuerzos de apoyo a la producción doméstica de combustibles y la reducción de la dependencia estadounidense de las importaciones de crudo.

Para mitigar los efectos de esta nueva crisis, dos medidas de política fueron implementadas:

- 1) Crude Oil Wind-Fall Profit Tax Act of 1980.
- 2) Energy Security Act of 1980.

En 1990, el Omnibus Budget Reconciliation Act (la Ley de Reconciliación del Presupuesto Ómnibus) redujo los incentivos y los impuestos al etanol, los cuales bajaron de seis centavos a cinco centavos, pero la ley se extendió hasta el 2000.

En 2004, la American Jobs Creation Act (algo así como la ley de creación de empleos americanos) racionalizó el sistema de exención de impuestos federales para mezclas de etanol con un crédito al impuesto llamado Volumetric Ethanol Excise Tax Credit (VEETC). La Ley del Empleo también redireccionó miles de millones de dólares de impuesto a los combustibles hacia un fideicomiso para apoyar a los pequeños productores de etanol y abrir nuevas oportunidades de mercado para las mezclas de etanol con gasolina a lo largo de los Estados Unidos.

La Ley de Política Energética de 2005 creó el Renewable Fuel Standard (RFS) –estándar de combustibles renovables–, que exigió el uso de etanol y otros biocombustibles en la oferta de combustibles en EUA y creó incentivos para la infraestructura de distribución del ESS.

La Ley de Seguridad e Independencia Energética de 2007 (The Energy Independence and Security Act (EISA) of 2007) estableció objetivos específicos para la producción de biocombustibles en los Estados Unidos. Hasta que las tecnologías avanzadas (biocombustibles de segunda generación) lleguen a ser comercialmente viables, la demanda de insumos tradicionales se incrementará para ser usados en la producción de etanol, dando como resultado cambios en el uso de la tierra, en la producción y en los precios del sector agrícola.

La EISA 2007 especifica una cantidad mínima total de la producción de biocombustibles hacia el 2022, y también ubica una cantidad específica de biocombustibles producidos con cierto tipo de insumos.

En particular, la producción de maíz en los EUA, que se destina al etanol, ha crecido sustancialmente, de 7.5 % del total producido (705 millones de búshels) en 2001, a 23.2 % (3,049 millones de búshels), en 2008 (USDA-WASDE, 2009). Para alcanzar la demanda de maíz para producción de etanol, el área plantada se incrementó a 93.5 millones de acres en 2007, el nivel más alto desde 1944.

El nivel de producción alcanzado en 2015 se podría sostener hasta el 2022 de acuerdo a los términos de la Ley, para lo cual será necesario complementar el crecimiento de la demanda con otras fuentes de insumos como los materiales celulósicos para la producción de biocombustible de segunda generación. También se espera que se incrementen las importaciones de bioetanol, en donde México podría participar. La demanda de biocombustibles en 2022 se espera llegue a un nivel de 20 mil millones de galones.

#### 9.4.1.1 Política actual de apoyo a la producción de etanol en los Estados Unidos

En la actualidad, en Estados Unidos de América se está aplicando toda una serie de políticas cuyo objetivo es fomentar el uso de la bioenergía: la Ley de Política Energética de 2005, la Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007, Ley Agrícola de 2002, y la Ley de Investigación y Desarrollo de la Biomasa de 2002, muchas de estas políticas afectan a la producción de biocombustibles líquidos para el transporte.

##### 9.4.1.1.1 Factores que detonaron la producción de etanol en EUA

En Estados Unidos, la producción de etanol se expande rápidamente, sin embargo los debates en materia de competitividad y el balance energético continúan. Algunos argumentan que el etanol sólo es viable con subsidios.

Estados Unidos es el productor de maíz más grande del mundo; en 2005 su producción representó el 40 % de la producción mundial de maíz. Este país también cuenta con los más altos rendimientos de producción. Con un insumo abundante y a bajo costo, la producción de etanol se ha desarrollado ampliamente y, en la actualidad, el etanol es mezclado en el 46 % de las gasolinas de EUA.

Un elemento clave para el desarrollo de la industria del etanol, sumado a las amplias medidas de apoyo, consiste en la reducción de los costos de producción de maíz y, en consecuencia, los de la producción de etanol. Los avances se describen a continuación:

- Rendimiento. Los rendimientos han aumentado 70 % en los últimos 30 años, de 2 t/ha en 1950; con la introducción de fertilizantes e híbridos de maíz se alcanzaron 5 t/ha en la década de los 70; en el año 2004 se alcanzó un rendimiento récord de 10 t/ha.
- Tamaño promedio. Los costos de operación por hectárea y los costos totales por hectárea no varían significativamente entre los diferentes tamaños de productores. Sin embargo, existen diferentes economías de escala en la producción por tonelada.
- Cambio de tecnologías basadas en la producción de alcohol comestible. Las primeras plantas de molienda seca para la producción de etanol usaban tecnologías basadas en la producción de alcohol para bebidas. Una gran reducción en los costos de producción y energía ocurrió cuando esta tecnología fue sustituida por una más específica para la producción de etanol combustible.
- Participación de los agricultores. En el año 2005, 46 plantas eran propiedad de los agricultores.
- Alto rendimiento de etanol. El rendimiento promedio se aumentó alrededor de 8 % (de 0.37 m<sup>3</sup>/t a principios de 1980, a 0.40 m<sup>3</sup>/t a la fecha).
- Reducción en los precios de las enzimas (un 70 % desde 1980).
- Mejores tecnologías de fermentación (15 % de concentración de etanol).
- Destilación y deshidratación (uso de tamices moleculares).
- Integración de calor (recuperación del calor y reuso de energía).
- Automatización.

De 1975 a 2005 los costos de producción disminuyeron en un 62 %. El alza en los precios de energéticos durante los tres últimos años ha traído altos costos de combustibles, electricidad y fertilizantes, pero el alza en los rendimientos hace que los costos de los fertilizantes disminuyan por tonelada.

Los costos de energía son los de mayor proporción en los costos de producción. La reducción de costos es causada por la disminución en el consumo de energía. Los debates acerca de los balances de energía en el etanol de EUA han estimulado la optimización en el uso de energía, principalmente en el remplazo de las tecnologías de deshidratación. La más larga disminución en los costos de producción entre 1988 y 2002 coincide con el cambio de tecnologías en la industria, enfocadas a la producción sólo de etanol combustible.

Los costos totales de producción de etanol disminuyeron alrededor de 57 % de 1980 a 2005. Las mayores reducciones se encuentran en los costos de capital y que

los costos de maíz han disminuido considerablemente; de igual forma los costos de operación se redujeron alrededor de 38 %. De manera puntual, entre 1983 y 2005 los costos de producción de etanol pasaron de USD 240/m<sup>3</sup>, a USD 130/m<sup>3</sup>

Actualmente, EUA produce más etanol que Brasil, sin embargo el uso de etanol en Brasil está más difundido: 20 % de las mezclas de etanol son comunes y la mayoría de los autos nuevos son vehículos *flex fuel*. En ambos países los costos han disminuido alrededor de 60 % desde 1975.

#### 9.4.1.2 Brasil

Para reducir los impactos de la dependencia de combustibles derivados del petróleo y utilizar los excedentes de producción de la industria azucarera, el Gobierno brasileño determinó, mediante el Decreto 19.717 firmado en 1931 por el presidente Getulio Vargas, la mezcla obligatoria de al menos 5 % de bioetanol anhidro con la gasolina. Al comienzo este requisito era sólo para gasolina importada, pero después pasó a ser también un requisito para gasolina producida en Brasil. La responsabilidad de establecer precios, cuotas de producción por ingenio y porcentajes de mezcla se le atribuyó al instituto del Azúcar y del Alcohol (IAA) Brasil (1931).

La concentración de bioetanol en la gasolina brasileña varió en las décadas siguientes, alcanzando un promedio de 7.5 % hasta 1975, cuando los efectos de la primera crisis de petróleo impusieron la necesidad de expandir el empleo de este biocombustible.

Partiendo de esas premisas, y luego de nuevos estudios y debate, el Gobierno federal instituyó el Programa Nacional del Alcohol (Proalcool), mediante el Decreto 76.593 del 14 de noviembre de 1975, firmado por el presidente Geisl. Este decreto estableció líneas específicas de financiamiento, formalizó la creación de la Comisión Nacional del Alcohol (CNA), responsable de la gestión del programa y determinó una paridad de precio entre el azúcar común y el bioetanol, estimulando la producción de este biocombustible, que había sido hasta entonces un subproducto menos valorado. En este contexto, se establecieron como metas la producción de 3 mil millones de litros de bioetanol para el año de 1980, y de 10.7 mil millones de litros para 1985.

Gracias a un marco legal decididamente favorable al bioetanol, su producción se amplió de modo significativo. Entre 1975 y 1979, la producción de bioetanol (anhidro e hidratado) pasó de 580 mil m<sup>3</sup> a 3.676 mil m<sup>3</sup>, superando la meta establecida para aquellos años en un 15 %. Debido al recrudecimiento de la crisis del petróleo, en el año de 1979, cuando sus precios sufrieron un nuevo aumento, se intensificó el programa Proalcool, estimulándose el uso del bioetanol hidratado en motores adaptados o producidos específicamente para el empleo este biocombustible.

En esa época, la dependencia de petróleo importado en Brasil era del orden de 85 %, equivalente a un 32 % del total de las importaciones brasileñas, con impactos

aún más graves sobre la economía nacional, lo que justificaba la meta ambiciosa de producir 10.7 mil millones de litros de bioetanol en 1985. Con ese objetivo, mediante el Decreto 83.700 de 1979, el Gobierno federal reforzó el apoyo a la producción de alcohol, creando el Consejo Nacional de Alcohol (CNAL), al cual se le asignó la conducción general del Proalcool, y la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol (Cenal), al que se responsabilizó de la implementación del programa (CGEE, 2007a). En tales condiciones, la producción de bioetanol alcanzó 11.7 mil millones de litros en 1985, excediendo un 9 % de la meta inicial.

En síntesis, el conjunto de incentivos adoptados por el Proalcool en esa época, que se mostró capaz de motivar a los agentes económicos, incluían:

- a) Definición de niveles mínimos en la concentración de bioetanol anhidro en la gasolina, que se elevaron progresivamente, hasta alcanzar el 25 %.
- b) Garantía de precios para el consumidor, asegurándole que el precio del bioetanol hidratado sería menor que el de la gasolina (en aquella época, los precios de los combustibles de toda la cadena productiva eran determinados por el Gobierno federal).
- c) Garantía de remuneración competitiva para el productor de bioetanol, incluso frente a precios internacionales más atractivos para el azúcar que para el bioetanol.
- d) Apertura de líneas de crédito con préstamos en condiciones favorables para que los dueños de ingenio pudieran incrementar su capacidad de producción.
- e) Reducción de los impuestos (en la venta de autos nuevos y en el permiso anual de circulación) a los vehículos funcionando con bioetanol hidratado.
- f) Establecimiento de la obligatoriedad de venta de bioetanol hidratado en estaciones de servicio.
- g) Mantenimiento de stocks estratégicos para asegurar el abastecimiento entre los períodos de cosecha de caña.

##### 9.4.1.2.1 La época difícil del bioetanol en Brasil

El panorama se transformó bastante el año de 1985, debido a la reducción de los precios del petróleo y a la recuperación de los precios del azúcar. Esto desmotivó la producción de bioetanol y llevó a una situación difícil que terminó con la fase de expansión del Proalcool. En 1986, el Gobierno federal revisó las políticas de fomento y redujo la rentabilidad media de la agroindustria de la caña, lo cual estimuló aún más el uso de la materia prima disponible en la fabricación de azúcar para exportación.

Debido al desinterés gubernamental con respecto al bioetanol y a la ausencia de políticas específicas para este biocombustible, en 1989 los consumidores de bioetanol comenzaron a enfrentar discontinuidades en la oferta. Los mecanismos de formación de *stocks* de seguridad no funcionaron y fueron necesarias medidas de emergencia, como la reducción de la concentración de bioetanol en la gasolina, la importación de bioetanol y el uso de mezclas de gasolina con metanol como sustituto del bioetanol. Sólo a partir de mediados de 2003, con el lanzamiento de los vehículos flexibles, el consumo de bioetanol volvió a crecer de modo significativo.

#### 9.4.1.2.2 El repunte del etanol y la situación actual en Brasil

Con la progresiva retirada de subsidios, fin de la regulación de precios del bioetanol, a partir del año de 1991, se inició la liberación total de precios del sector sucroalcoholero, proceso que concluyó en 1999.

De este modo, comenzó a operar un nuevo modelo de relación entre productores de caña de azúcar, productores de bioetanol y empresas distribuidoras de combustible, en el cual se adoptaron las reglas de mercado actualmente vigentes en el país. Del estado original de las medidas legales y tributarias, que permitieron consolidar el bioetanol combustible en Brasil, permanece vigente sólo la tributación diferencial del bioetanol hidratado y de los vehículos a bioetanol, buscando asegurarle al consumidor condiciones paritarias en el uso de bioetanol hidratado o de gasolina.

En este contexto, los precios de bioetanol anhidro se negocian libremente entre los productores y las distribuidoras. En el marco de la agroindustria, el precio de caña es libre, aunque generalmente ha sido determinado según un modelo contractual establecido en bases voluntarias, y coordinado conjuntamente por los plantadores de caña y los productores de bioetanol y azúcar. En este modelo, el azúcar que contiene la caña que llega para ser procesada, así como el azúcar y el bioetanol producidos por las plantas, se convierten en una base común de comparación: los azúcares totales recuperables (ATR) presente en la materia prima entregada a la agroindustria, en donde a su vez los precios se determinan por el resultado económico de los productos obtenidos, azúcar y bioetanol, una vez consideradas las ventas, este modelo es gestionado por el Consejo de los Productores de Caña, Azúcar y Alcohol del estado de Sao Pablo (Consecana), constituido en 1997 e integrado por representantes de todos los sectores privados involucrados (Scandiffio, 2005).

En este sentido, resultó esencial la existencia de un marco legal que consolidó las transformaciones implementadas.

Siguiendo con la reestructuración institucional en el marco de la agroindustria del bioetanol, en 1997 se crearon dos instituciones importantes, por medio de la Ley 9.478: el Consejo Nacional de Política Energética (CNPE), cuyas atribuciones incluyen el establecimiento de directrices para programas específicos de uso de los biocombustibles,

y la Agencia Nacional del Petróleo (ANP), que luego, mediante la Ley 11.097, de 2005, pasó a denominarse Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles, ampliando su área de actuación. Entre las atribuciones de la ANP está la de promover la regulación, la contratación y fiscalización de las actividades económicas de los biocombustibles, debiendo implementar la política nacional de biocombustibles, con énfasis en la garantía de suministro en todo el territorio nacional y la protección de los intereses del consumidor en lo relativo a precio, calidad y oferta técnicas y monetarias previstas en ley o contrato; hacer cumplir las buenas prácticas de conservación y uso racional de los biocombustibles y de preservación del medio ambiente; organizar y conservar el acervo de informaciones y datos relativos a las actividades reguladas de la agroindustria de los biocombustibles, y especificar la calidad de éstos.

El proceso de revisión institucional del bioetanol concluye con la creación, por parte del Gobierno federal, del Consejo Interministerial del Azúcar y del Alcohol (CIMA), mediante el Decreto 3.546, de 2000.

Esta entidad tiene el objetivo de decidir las políticas relacionadas con las actividades del sector sucroalcoholero, considerando, entre otros, los siguientes aspectos: a) una adecuada participación de los productos de caña de azúcar en la matriz energética nacional; b) mecanismos económicos necesarios para el automantenimiento sectorial; c) el desarrollo científico y tecnológico del sector. El CIMA está integrado por el ministro de Agricultura y Abastecimiento, quien lo preside, y los ministros de Hacienda, Desarrollo, Industria y Comercio Exterior, y de Minas y Energía. Entre las atribuciones más importantes de este Consejo están la definición y revisión periódica de la concentración de bioetanol en la gasolina, en una franja de 20 % y 25 %. En los últimos años, esa concentración ha sido del 25 %, aunque puede reducirse debido a las disponibilidades y las condiciones de mercado, tal y como ocurrió en el año 2009 con precios elevados del azúcar y un mercado deprimido para los combustibles en general.

#### 9.4.1.2.3 Los vehículos *Flex-fuel*

En el año 2003 surgieron los automóviles *flex-fuel*, con gran aceptación por parte de los consumidores. Este éxito se debe a que el propietario del vehículo puede elegir entre usar gasolina (con un 25 % de etanol anhidro) y/o bioetanol hidratado, dependiendo del precio, autonomía, desempeño o disponibilidad. Gracias a eso se recuperó el consumo del bioetanol hidratado en el mercado interno y surgieron nuevas perspectivas para la expansión de la agroindustria de caña, que se suman a las posibilidades de expansión de la demanda internacional de bioetanol anhidro usado en mezclas con gasolina. Desde entonces, la agroindustria brasileña de caña ha crecido a tasas elevadas, consolidándose económicamente y presentando indicadores positivos de sostenibilidad ambiental.

En la actualidad, 5.5 millones de vehículos (con motores para bioetanol hidratado y motores flexibles) pueden utilizar regularmente este biocombustible en Brasil, lo que equivale a cerca de 20 % de la flota automotriz (25.6 millones de vehículos).

#### 9.4.1.2.4 El costo para el gobierno brasileño

Desde el punto de vista económico, se estima que la implementación del Proalcool, entre 1975 y 1989, costó aproximadamente US\$ 7,100 millones, de los cuales US\$ 4,000 millones fueron financiados por el gobierno brasileño y el restante aportado por el sector privado (Dias Leite, 2007). Considerando el volumen de bioetanol combustible consumido en el período de 1976 a 2005, y valorándolo a los precios de la gasolina en el mercado mundial, se estima una economía de divisas de US\$ 195,500 millones, de los cuales US\$ 69,100 millones corresponden a importaciones evitadas y US \$ 126,400 millones a intereses de la deuda externa evitados (BNDES, 2006).

Las políticas actuales de Brasil, en materia de bioenergía se rigen por las directrices normativas del Gobierno federal; el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento ha elaborado un programa con el fin de satisfacer las necesidades de bioenergía del país.

Según el Banco Mundial, la industria de etanol de Brasil emplea 500,000 personas. Mauricio Tolmasquim, presidente de la Empresa de Pesquisa Energética (EPE) del Ministerio de Minas y Energía, comenta que, de los 25,500 millones de litros que Brasil produciría en 2008, unos 4,200 millones de litros irían al mercado internacional y la cifra subirá hasta 8,300 millones de litros en 2017, según la proyección “conservadora” del EPE.

Las exportaciones brasileñas se hacen a través de contratos bilaterales, cerrados entre exportadores (principalmente la petrolera estatal Petrobras) y los compradores. El etanol también es empleado en empresas químicas y como aditivo a la gasolina convencional.

Los proyectos en marcha requieren inversiones de entre 20,000 y 25,000 millones de dólares, solamente en 246 destilerías, de las cuales el 46 % ya está en construcción y el resto en fase de diseño, según los ejecutivos del EPE, al presentar las proyecciones.

Casi la mitad de los proyectos que se necesitan para atender la demanda ya están en desarrollo<sup>21</sup>.

#### 9.4.1.2.5 Las perspectivas de Brasil

Pese a que la prioridad será atender al mercado interno, cuyo consumo crecerá 150 % en los próximos años a una elevada tasa de 11 % anual, Brasil desarrolla infraestructura orientada a la exportación, con un tendido de “alcoholoductos” para transportar el etanol hasta puertos de embarque.

En Brasil hay 300 millones de hectáreas agrícolas y sólo tres millones se usan para producir etanol y otras tres para azúcar. En la actualidad, el 25 % de los combustibles han sido sustituidos por etanol, y Brasil podría reemplazarlos totalmente con el 4 % de sus tierras de cultivo actuales. Por su parte, EUA tendría que transformar la mitad de la producción de maíz en etanol; necesitaría un 15 % de su tierra agrícola para conseguir una mezcla del 10 % de etanol en su gasolina. De acuerdo a un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), señala que Brasil podría cubrir estas necesidades del mercado estadounidense con el 3 % de su superficie dedicada a la agricultura.

Y como agregado importante, en Brasil existe suficiente tierra sin cultivar, para aumentar la producción agrícola y además un tremendo potencial en el desarrollo tecnológico de la producción agrícola, para bajar los precios a niveles competitivos.

Sin embargo, EUA y la UE imponen altos aranceles sobre importaciones de etanol brasileño y no ofrecen ninguna señal de que estén dispuestos a eliminarlos, ni siquiera reducirlos. Según informe de la ONU, al impedir la importación de biocombustibles producidos más eficientemente en otros países, Occidente estaría “desviando más tierras para producir comida de lo necesario”.

Los Estados Unidos imponen un arancel de 51 centavos de dólar por galón a las importaciones de etanol brasileño, una medida que el congreso estadounidense prorrogó el 8 de diciembre de 2006 hasta 2009. Los aranceles impuestos por la UE son todavía mayores, según el Banco Mundial. Aun así, Brasil consiguió exportar 600 millones de dólares de etanol en 2005, cifra que se doblará en 2010. Los principales clientes brasileños son Japón y Suecia, interesados en utilizar este combustible para cumplir sus obligaciones bajo el Protocolo de Kioto.

¿Podría convertirse Brasil en la Arabia Saudí del etanol? La respuesta es sí. El etanol brasileño es más eficiente que el estadounidense al estar producido a partir de caña de azúcar en vez de maíz. Según el informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), "Biocombustibles: ¿La fórmula mágica para las economías rurales de América Latina y el Caribe?", a los precios y costos de noviembre de 2006, el etanol brasileño es competitivo si el precio del barril de petróleo se mantiene por encima de los 40 dólares, mientras que en el caso del etanol de Estados Unidos el precio debería ser de 60 dólares, y en el europeo, 80 dólares. La Agencia Internacional de la Energía predice que los precios del petróleo se mantendrán entre 48 y 62 dólares hasta 2030.

#### 9.4.1.2.6 Factores que detonaron la producción de etanol en Brasil

El desarrollo tecnológico en la producción de caña de azúcar en Brasil es más lento que el de la producción de maíz en EUA. La producción de etanol empezó primero

<sup>21</sup> Brasil proyecta triplicar la superficie destinada a producir etanol en los próximos diez años, aumentándola de tres a nueve millones de hectáreas. Con este objetivo en mente, el gobierno brasileño ya habría rubricado un acuerdo interno con agricultores y empresarios para que la expansión no se efectúe a costa de talar bosques, sino que proceda de pastizales y un quinto de cultivos de soja.

en Brasil, sus costos de producción disminuyeron un 70 % desde 1975, frente a 49 % de la reducción de costos de EUA.

Toda esta experiencia en la producción de etanol ha llevado a los actuales costos de producción de aproximadamente USD 275/m<sup>3</sup> en Brasil, y de USD 310/m<sup>3</sup> en EUA. Mientras que la producción de etanol en Brasil tiene una mayor integración vertical con la producción de materia prima, las plantas en Estados Unidos pagan los precios del maíz, los cuales aumentaron en los últimos años.

A pesar de que Brasil tiene una larga historia en biocombustibles, el período posterior a 1970 es de interés particular. La principal razón del éxito en la producción de biocombustibles han sido las sinergias entre el mercado del azúcar, electricidad y producción de calor, el apoyo institucional y la geografía.

En Brasil, como en cualquier otro lugar, la construcción de la infraestructura de la industria de etanol dependió de los subsidios para permitir que el producto pudiera competir con una fuente de energía ampliamente fluctuante: el petróleo.

La industria del alcohol en Brasil fue iniciada y guiada por los precios altos de petróleo y azúcar. La producción de alcohol en Brasil estaba fuertemente regulada y altamente subsidiada hasta 1990. En 1999 la producción de alcohol fue virtualmente liberada de la regularización gubernamental y ahora está en un agradable resurgimiento. Los progresos alcanzados en Brasil han sido increíbles. Durante un período de 30 años, desde la iniciación del programa brasileño de etanol –ProAlcool–, la producción de etanol ha aumentado 30 veces, los rendimientos por hectárea han aumentado 60 %, y los costos de producción han disminuido un 75 %. La baja cantidad de fertilizantes nitrogenados usados en la caña de azúcar, junto con las mejores tecnológicas, han guiado a un balance energético para el etanol de caña de azúcar de una unidad de combustible fósil usado para producir ocho unidades de biocombustible.

El éxito del ProAlcool fue principalmente el resultado de controles muy estrictos de oferta y demanda, los cuales fueron estimulados y ajustados aunque existía un sistema de control centralizado. En 1975, las metas anuales para la producción de etanol se fijaron en 3 billones (1 billón=mil millones) de litros para 1980 y 7 billones de litros para 1985. Esto fue logrado gracias a diversos estímulos, los cuales incluían:

1. El Banco do Brasil otorgó préstamos con bajas tasas de interés (<25 % tasa anual porcentual) para aumentar la capacidad de las destilerías y la infraestructura de procesamiento.
2. Los precios fueron regulados por el gobierno y les fueron fijadas cuotas de producción para prevenir la sobreproducción. A los productores de etanol se les aseguraba que la compañía estatal de petróleo –Petrobras– compraría a un precio fijo, todo el etanol producido bajo el sistema de cuotas.

3. Se fijaron controles muy estrictos en las cantidades de producción y exportación de azúcar.

4. El gobierno invirtió de forma importante en la investigación para disminuir los costos de producción y aumentar la producción.

En 1979, la industria fundó la Cooperativa del Azúcar, Alcohol y Productores de Caña de Azúcar o Copersucar. El Centro de Tecnología de la Copersucar rápidamente se convirtió en un sitio centralizado y coordinador de la investigación subsidiada del cultivo, molienda y fermentación.

Para alentar el desarrollo se fabricaron carros de motor a etanol más competitivos, el gobierno fijó un impuesto menor a los carros a etanol, que para aquellos de gasolina. A principios de 1980, el gobierno también disminuyó la cuota de la licencia anual para los carros a etanol. Para 1984, el 96 % de todos los carros nuevos en Brasil eran a etanol.

Grandes demandas de infraestructura fueron satisfechas por el gobierno. Con los subsidios y los incentivos a los impuestos asignados por el gobierno se estima que se pagó más del 80 % de todas las inversiones hechas para la producción y distribución de alcohol. El gobierno también financió la distribución del etanol instalando bombas en cada estación de Petrobras a lo largo del país.

En 1985 la producción de etanol resultaba muy cara para el gobierno porque la industria estaba basada en los subsidios. Pero el gobierno ya no podía más sostener esto. El gobierno entonces fijó un precio de garantía del alcohol por debajo de los costos de producción en 1986 y 1987, los cuales fueron una carga que la industria no estaba preparada para soportar. Finalmente, las ventas de los carros a etanol cayeron en picada con la eliminación de las bajas tasas de impuestos.

Una temprana previsión dentro de la industria de la caña de azúcar, azúcar y alcohol colocaron a la industria en buena posición para una pronta respuesta a la pérdida de subsidios. Con la disminución de las cuotas de exportación de azúcar, los productores podían cambiar rápidamente de producción de etanol a azúcar, y el aumento en las exportaciones hizo de Brasil líder global en el mercado del azúcar.

#### 9.4.1.3 Colombia<sup>22</sup>

La producción del etanol comenzó en Colombia entre octubre de 2005 y abril de 2006 en cinco ingenios azucareros que decidieron instalar destilerías de alcohol, invirtiendo más de US \$ 139 millones. Para lograr una producción de 260 millones de litros de alcohol, la industria azucarera realizó una sustitución en el uso de la caña, canalizando la materia prima para la producción de etanol en lugar de producir azúcar, por lo que no se sembró más caña. De esta forma, en 2008 se sustituyeron 296,834 toneladas de azúcar las cuales se dejaron de exportar a los mercados de menor precio.

En el mercado nacional, el programa de Adición del 10 % de alcohol sólo llegó a cubrir el 83 % del consumo interno. En marzo del 2009, el Gobierno nacional

expidió el Decreto 1135, el cual busca preparar el parque automotor del país para tener la capacidad de utilizar mezclas de gasolina y etanol superiores al 10 % que existe hoy en día. El suministro de combustible para los vehículos que no dispongan de la tecnología para mezclas mayores del 10 % está garantizado hasta antes de 2012, el Decreto no implica que haya una reconversión obligatoria del parque automotor. Lo que pretende es que los nuevos carros de menos de 2000 cm<sup>3</sup> que se produzcan vengán con tecnología para mezclas de etanol con gasolina hasta un máximo y se espera incrementar de 85 % del biocombustible.

En 2009, la producción de etanol colombiano se duplicó con respecto a 2008; se estima que se produjeron 2.42 millones de litros por día a finales de 2009 en nuevas plantas de etanol. Las inversiones se han estado estimulando con bajas tasas de impuestos. Se calcula que hay 3.9 millones de hectáreas disponibles para la producción de biocombustibles en los próximos años. Los empleos generados por la industria de la caña de azúcar son alrededor de 89,000 con las seis nuevas plantas que se están proyectando. También se tiene contemplado que, en 2010, el 20 % de los vehículos ensamblados o importados serán flex fuel, con capacidad de usar mezclas E85.

#### 9.4.1.3.1 El marco legal colombiano para la producción de etanol

El programa para etanol como combustible de Colombia comenzó en 2001, año en que el gobierno aprobó una ley que obligaba al enriquecimiento en oxígeno de la gasolina. Esto se hizo inicialmente para reducir las emisiones de monóxido de carbono de los coches. Regulaciones más recientes eximieron al etanol elaborado a partir de biomasa de algunos impuestos que gravan la gasolina, haciendo así más barato el etanol que la gasolina.

Esta tendencia se vio reforzada cuando los precios del petróleo subieron a principios de 2004, y con él el interés en combustibles renovables (al menos para los coches). En Colombia, el precio de la gasolina y del etanol es controlado por el gobierno.

Complementariamente a este programa para el etanol, existe un programa para el biodiésel, para oxigenar combustible diésel, y para producir un combustible renovable a partir del aceite vegetal.

Al principio todo el interés en la producción del etanol vino de la industria de azúcar existente, ya que es relativamente fácil añadir un módulo para desarrollar etanol al final de una fábrica de azúcar, y las necesidades energéticas son similares a las que se necesitarían para producir el azúcar.

El gobierno alienta a convertir gradualmente las fuentes de combustible de los coches a una mezcla del 10 % de etanol, y de 90 % de gasolina. Las plantas del

etanol están siendo incentivadas por tratos fiscales. Ha habido interés en plantas de etanol de yuca (mandioca) y de nuevas plantaciones de la caña de azúcar, pero aún no se ha conseguido producir carbohidratos a bajo precio.

La primera planta de etanol para uso como combustible, en Colombia, comenzó a producir en octubre de 2005, con la salida de 300,000 litros al día en el Valle del Cauca. Hasta marzo de 2006, cinco plantas, todas en el valle del Río Cauca (departamentos de Valle, Cauca y Risaralda), están operativas, con una capacidad combinada de 1,050,000 litros por día, o de 357 millones de litros por año. En el año 2009 se reportó la producción anual de 315,000 millones de litros de etanol (F.O.LI-CHT's, octubre 22, 2009).

En el Valle del Cauca el azúcar se cosecha durante todo el año, y las destilerías nuevas tienen una disponibilidad muy alta. La inversión total en estas plantas es de 100 millones de USD. Eventualmente, Colombia espera tener una capacidad de 2,500,000 litros por el día, que es la cantidad necesaria para agregar el 10 % de etanol a la gasolina.

El etanol producido se utiliza actualmente en las principales ciudades cerca del Valle del Cauca, tales como Cali y Pereira, como también en la capital, Bogotá. No hay suficiente producción para el resto del país.

El 31 marzo de 2009 el gobierno colombiano decretó la introducción paulatina de vehículos de combustible flexible E85. La regulación aplica a todos los vehículos con motor a gasolina con cilindrada inferior a 2 litros que se fabriquen, ensamblen, importen, distribuyan y comercialicen en el país a partir del 1 de enero de 2012.

El decreto ejecutivo establece que el 60 % de tales vehículos deberán tener motores *flex-fuel* capaces de operar con gasolina o E85, o cualquier mezcla de ambos. En 2014 la provisión anual sube para 80 % y alcanza el 100 % en 2016. Todos los vehículos con cilindrada superior a 2 litros deberán soportar E85 a partir de 2013.

El decreto también ordena que en 2011 la infraestructura de la cadena de distribución y venta al consumidor de gasolina deberá adaptarse para garantizar la venta de E85 en todo el país.

La introducción obligatoria de los vehículos *flex-fuel* E85 causó controversia entre los fabricantes y vendedores de autos, así como de algunos productores que reclamaron que la industria no está en capacidad de suplir suficiente etanol para la nueva flota E85. En decreto anterior de 2007, lo que estaba previsto para 2012 era la introducción de gasohol E20.

De conformidad a las expectativas del Ministerio de Agricultura, la producción colombiana de etanol duplicará los 2.42 millones de litros por día para fines del 2009, a medida que entren en marcha nuevos proyectos.

Colombia, el segundo mayor productor de etanol de Latinoamérica detrás de Brasil, está en la búsqueda de inversionistas que se unan a los proyectos con los que intenta elevar la capacidad de producción del biocombustible y crear empleos.

<sup>22</sup> 50 Años ASOCAÑA. Informe Anual 2008-2009 Sector Azucarero Colombiano.

En el año 2009 se tienen seis nuevos proyectos que incrementarán la producción colombiana en 1.37 millones de litros por día, en comparación con los 1.05 millones actuales.

Colombia busca elevar su producción de etanol y biodiésel para cumplir con las metas para mezclar esos biocombustibles con la gasolina en los próximos años, ya que se tiene como meta, de conformidad con las proyecciones del gobierno y para cumplir con los decretos promulgados.

De acuerdo al Ministro de Agricultura, las compañías que inviertan en aumentar la capacidad de producción de biocombustibles de Colombia se beneficiarán de una baja tasa impositiva del 15 %, siempre y cuando su inversión sea de al menos de US \$16.4 millones o contemple la creación de 500 empleos o más.

Colombia tiene el potencial para cultivar caña para la producción de biocombustibles en un área de 3.9 millones de hectáreas, muy por encima de las actuales 478,000 hectáreas.

Una de las metas que se ha propuesto el gobierno colombiano es la de generar empleos y tener una política amistosa con el ambiente, ya que actualmente la industria del etanol de su país emplea a unas 89,000 personas.

Según el Banco Mundial, Colombia espera que el mandato para mezclar etanol cree 170.000 nuevos empleos, aumentando los ingresos promedios de los agricultores de dos a tres veces.

#### 9.4.1.3.2 Costos de producción de etanol en Colombia

El mercado de biocombustibles de Colombia comprende la producción, en 2006, de 1.72 millones de barriles de bioetanol, y en 2009 se inicia la producción de biodiésel, las materias primas que se emplean para la producción de biocombustibles son: 3.8 millones de toneladas de caña de azúcar y aceite de palma africana para el biodiésel. Se estima un costo de producción de 63.3 dólares por barril de etanol producido (398.145 dólares/m<sup>3</sup>).

F. O. Lichts (2007) presenta datos de costos de producción de etanol a partir de mieles intermedias de caña (mieles B), con un índice de recuperación de etanol de 290 litros por tonelada de miel B. Una planta de 55 millones de litros anuales en Colombia procesando mieles B tiene los costos que se muestran en la Tabla 107.

Tabla 107. Costos de producción etanol a partir de mieles intermedias (B) en Colombia.

Variables	2004	2005	2006
Precios de las melazas (US \$/t)	41.41	83.83	91.81
Costo de materia prima (US \$/m <sup>3</sup> )	142.80	289.10	316.60
Mano de obra (US \$/m <sup>3</sup> )	8.00	8.00	8.00
Aseguranza, derechos y reparaciones (US \$/m <sup>3</sup> )	8.70	8.70	8.70
Otros costos de operación (US \$/m <sup>3</sup> )	20.00	20.00	20.00
Total costos de operación (US \$/m <sup>3</sup> )	36.70	36.70	36.70
Costos de producción bruto 1/ (US \$/m <sup>3</sup> )	179.50	325.80	353.30

1/ No se incluye el costo de inversión.

Fuente: F.O. Licht's and Agra CAS Consulting. Ethanol Production Costs. 2007. A Worldwide Survey. 2007 Agra Informa Ltd. United Kingdom.

#### 9.4.1.3.3 Costos de producción de etanol en los principales países productores de los biocombustibles

Como se puede apreciar en la Tabla 107, los costos de producción de etanol varían según el tipo de materia prima utilizada y el país donde se obtiene el etanol; los distintos costos de producción se deben principalmente a las diferencias que existen en el precio pagado por la materia prima usada, sea maíz o caña de azúcar<sup>23</sup>.

Así por ejemplo, Estados Unidos tiene el costo de producción de etanol más bajo usando maíz como insumo, y Brasil tiene el costo de producción de etanol más bajo usando caña de azúcar, pero éste es menor del que se obtiene en Estados Unidos, la diferencia radica en que Brasil produce el insumo a bajo precio, aunque en los costos de operación sean similares (Tabla 108).

<sup>23</sup> El uso de otras materias primas como el sorgo dulce y la remolacha azucarera, aun no se ha extendido en el mundo y por tal razón no se tienen datos de costos de producción precisos.

Tabla 108. Costos de producción de etanol en países seleccionados 2006 US \$/m<sup>3</sup>.

País	Materia prima	Costo bruto de la materia prima	Precio de la materia prima (US \$/t)	Costo total de operación	Costo neto de producción <sup>24</sup>
Brasil	Mieles B, jugo directo	250.65	20.55	57.00	300.19
México <sup>25</sup> (estimado 2009)	Jugo directo	437.50	31.82	57.00	494.50
EUA (2006/2007)	Maíz molido húmedo	333.90	131.89	204.39	395.34
EUA (2006/2007)	Maíz molienda seca	321.68	131.89	170.04	406.52
Colombia	Mieles de caña	316.60	91.84	36.70	353.30
Centroamérica	Mieles de caña	299.89	85.168	100.20	400.09
India	Mieles de caña	278.13	66.750	66.70	344.83
Tailandia	Mieles de caña	324.67	81.167	68.03	392.70
Australia	Mieles de caña	345.57	90.539	70.60	416.16

6/ Estimado con base en los costos de producción que se muestran en la Tabla 108, y el precio pagado por la caña de azúcar en la zafra 2008-2009.

Fuente: elaboración propia con información de F.O. Lichts, Agra CEAS. Informa: Ltd. 2007. Ethanol Production Costs, a Worldwide Survey.

### 9.5 Análisis de la estructura de costos de producción de etanol en EUA, Brasil y México

El costo producción del etanol depende fundamentalmente del costo de producción de la materia prima que se use para su elaboración. En Estados Unidos, para la fabricación de etanol se usa maíz, mientras que en Brasil y México se utiliza caña de azúcar. El costo de la materia prima en EUA representó 38.8 % usando la molienda húmeda, y 50.4 % en molienda seca (USDA, 2006). En Brasil, la caña de azúcar participa con 62 % del costo de cada litro de etanol (Xavier, C.E.O. *et al.*, 2009). La posición competitiva de una industria como la del etanol depende fundamentalmente del precio de la materia prima (caña o maíz), por tanto, es necesario analizar primero los costos de producción de esas materias primas para identificar si existen diferencias que podrían favorecer alguna de estas industrias.

Las industrias que procesan la caña de azúcar en los países de referencia son muy distintas, no obstante, el etanol como el azúcar podría llegar a comercializarse más ampliamente en el mercado internacional. En principio, el etanol que se produzca en México tendría que competir con el etanol de origen brasileño, pero también podría competir con las gasolinas que se importan desde este país, y/o el éter MTBE que se importa para oxigenar gasolinas.

La industria del etanol en Estados Unidos ha experimentado un tratamiento preferencial por parte de los Gobiernos federal y estatal desde la Ley de 1978, a través de la cual se aplica un impuesto a la energía del 10 %, exceptuando a las mezclas de gasolina con etanol. Este impuesto se combinó con otro impuesto a la importación de etanol de 54 centavos por galón, el cual estuvo vigente por varios años. Tales exenciones y tarifas de importación fueron diseñadas para proveer de incentivos para el establecimiento y desarrollo de la industria del etanol en EUA (Wallace E. Tyner, 2008). Cuando surge el MTBE éste oxigenante le ganó mercado al etanol y no fue sino hasta cuando el MTBE fue encontrado como un contaminante de aguas del subsuelo, que su incorporación a las gasolinas se prohibió y entonces creció la demanda de etanol.

En Brasil, la producción de etanol detonó en 1975 cuando dio inicio el programa Proálcool, como una repuesta a la crisis petrolera de 1973. El programa comprendió los siguientes elementos:

- Un precio de garantía del alcohol.
- La distribución del etanol de realizó por una compañía del Estado.
- Se dieron incentivos para la construcción de destilerías.
- Para mediados de la década de los ochenta muchos automóviles fueron acondicionados para usar 100 % alcohol hidratado.
- En 2003 se introdujeron los vehículos flexibles en el uso de combustible debido a un precio muy competitivo del alcohol frente a las gasolinas.

De acuerdo con las fuentes oficiales, actualmente no hay subsidios directos en la producción de etanol en Brasil, sin embargo, hay otros mecanismos que ayudan indirectamente a las destilerías. Primero, hay una mezcla obligatoria impuesta sobre las compañías petroleras, las cuales tienen que adicionar entre 20 % y 25 % de alcohol a las gasolinas. En segundo lugar, el impuesto al valor agregado de las gasolinas es del doble al que se aplica al etanol. Los costos de producción de Brasil son del orden de US\$ 340 por m<sup>3</sup> y con base en la curva de aprendizaje la tendencia para el 2020 se estima entre US\$ 200 y 260 por m<sup>3</sup> (Bake JDV, 2009).

<sup>24</sup> Se refiere a los costos después de restar los ingresos por coproductos y no incluyen el costo de inversión.

<sup>25</sup> Estimado para México.

Tabla 109. Características de la agroindustria cañera de los países de referencia (2009).

Concepto	EUA	Brasil	México
Superficie cultivada caña (000 ha)	350.6	7,700	700
Rendimiento en campo (t/ha)	78.7	85	64
Rendimiento en fábrica (%)	12.8	12.0	11.0
Producción de azúcar (000 t)	6,833	31,622	4,962
Número de productores de caña	950	72,000	176,000
Número de ingenios/destilerías	16/170	410	54/16
Exportaciones de azúcar (000 t)	123	20,000	1,367
Importaciones de azúcar (000 t)	2,796	0	160
Producción de alcohol (000 m <sup>3</sup> )	10,938	27,526	14.5

Fuente: Brasil: [www.unica.com.br/unicadata](http://www.unica.com.br/unicadata) Consulta 16 de noviembre 2013. USA: F.O. LIGHTS and AgraCEAS Consulting. Ethanol Productions Cost a Worldwide Survey. 2007 AgraInforma Ltd. United Kingdom. México: CNIAA. Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar. Zafras 2000/2001 a 2010/2011. XIX Edición. México, 2012.

### 9.5.1 Costos de producción de etanol

Los países que sobresalen en la producción de biocombustibles son aquellos que logran producir materias primas o insumos de manera sostenible, con precios atractivos, de tal manera que aun con costos de petróleo por debajo de 50 dólares el barril, los bioenergéticos sean competitivos.

Hay tres elementos básicos que afectan los costos de producción de bioetanol:

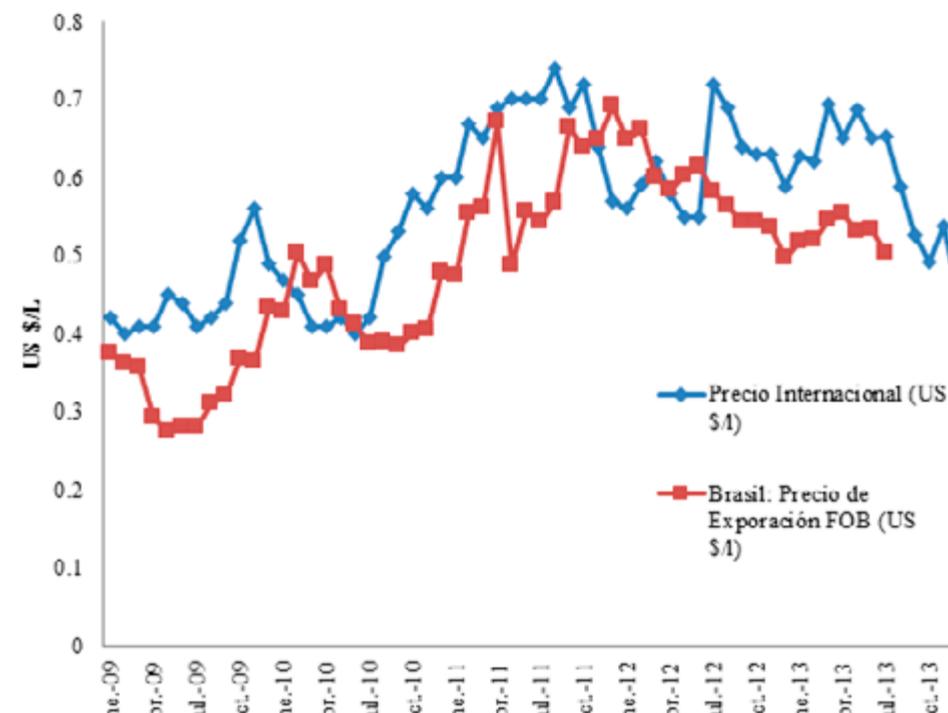
1. Los costos de las materias primas. La materia prima representa entre el 40 % y 60 % del costo total de producción del etanol combustible.
2. Los costos variables de operación. Se incluye el costo de la energía, agua, la levadura y enzimas, entre otros.
3. Los costos de la inversión. Maquinaria y equipo, el terreno, los servicios auxiliares (planta de tratamiento y manejo de afluentes, generación de vapor y producción de energía eléctrica), el transporte, etcétera.

Los costos de producción están cambiando rápidamente; el desarrollo tecnológico, la incorporación de nuevas materias primas y las propias fuerzas del mercado son los factores que están incidiendo en los cambios observados entre 2006 y 2009.

### 9.5.2 Los precios del etanol

Los precios internacionales del etanol están íntimamente relacionados con el comportamiento de los precios del maíz, caña de azúcar, sorgo y otras materias primas por lo que generalmente el precio fluctúa dependiendo del precio según su disponibilidad, sin embargo, existen otros factores que afectan indirectamente los precios de los biocombustibles, como pueden ser los precios internacionales del petróleo, gasolinas, gas natural y otros combustibles fósiles.

Figura 165. Precio internacional del etanol y precio de exportación de Brasil (US \$/L).



Fuente: elaboración propia.

La Figura 165 muestra los precios internacionales del etanol en los últimos cinco años (2009 a 2013), y también los precios a los que exportó Brasil el etanol

(FOB) en el mismo período. La tendencia indica que los precios podrían ubicarse entre 0.5 y 0.6 dólares por litro en los próximos años, lo que equivale a un precio entre 6.5 y 7.8 pesos por litros (tipo de cambio de 13 pesos por dólar). Lo anterior significa que el precio de la caña debería ubicarse alrededor de \$ 400.00 la tonelada para lograr un costo de producción de etanol competitivo, como se muestra en la Tabla 108.

## 9.6 Análisis de resultados

Los altos costos de producción de caña en México han limitado la producción de etanol a partir de esa materia prima. Su estructura, caracterizada por el minifundio, limita la mecanización y las labores de cosecha; le impone un alto costo administrativo que representa alrededor del 30 % del costo de la caña puesta en el ingenio.

Los precios elevados que se pagaron por la caña durante las zafras 2009 a 2012 hicieron inviable la producción de etanol, no obstante la demanda manifiesta en las licitaciones publicadas por PEMEX para adquirir etanol anhidro para oxigenar gasolinas. Una nueva licitación bajo la modalidad de Contrato Abierto sujeto a ajuste de precios se encuentra en proceso (SENER, 2013), sin embargo, no hay claridad si habrá oferentes que cumplan con las cantidades requeridas por la paraestatal y, por otra parte, habrá que ver si el precio ofrecido por el biocombustible es viable para el negocio.

En el escenario de precios bajos de la caña de azúcar, como los que se pagaron en la zafra 2013, la producción de etanol podría ser competitiva. De acuerdo con el análisis de los costos de producción que se presentaron en la Tabla 108, un precio de la caña de \$400.00 pesos por tonelada haría posible obtener etanol a un costo de \$7.00 por litro. Si se considera un costo de transporte del etanol de la planta productora a las terminales mezclado y distribución de PEMEX de \$0.50 por litro, la paraestatal podría estar pagando el etanol a un precio de \$8.20 por litro, para asegurar un margen de utilidad del 10 % sobre el costo de producción para el productor.

Si el etanol producido en México tiene como destino el mercado de Estados Unidos, el análisis comparativo de los costos de producción realizado en este trabajo muestra que México podría ubicarse en una posición competitiva, por arriba del costo de Brasil, pero con la ventaja de la cercanía del mercado norteamericano, y por debajo del costo de EUA, para poder competir con el etanol que se produce en ese país a partir de maíz.

La producción de etanol en México, si se canaliza para oxigenar gasolinas, puede contribuir a la sustitución del MTBE que se importa actualmente, y a reducir la cantidad de gasolinas que llega del exterior, así como la diversificación de las fuentes de energía y consiguiente fortalecimiento de la seguridad energética nacional.

En ninguno de los tres países estudiados la producción y usos de etanol para combustible se ha desarrollado en ausencia de un conjunto de políticas de apoyo para la producción y uso de los biocombustibles.

Es importante señalar que la legislación vigente para la promover la producción y usos de biocombustibles como el etanol es insuficiente, debido a que no se han considerado lineamientos jurídicos como los aplicados en los países de referencia, que a continuación se mencionan:

- i) La obligatoriedad, en el uso de porcentajes de mezclas.
- ii) Los apoyos tanto a los productores de materia prima como a los productores de etanol anhidro para detonar la producción y usos de bioetanol.
- iii) Una política fiscal adecuada a la promoción y desarrollo de bioenergéticos.
- iv) Planeación de la expansión y mejora tecnológica de los cultivos como la caña de azúcar para la producción de bioenergéticos.

Estos elementos, al no encontrarse establecidos en el marco regulatorio nacional, hacen ineficiente desde el punto de vista jurídico, la promoción y desarrollo de los bioenergéticos en México, ya que el análisis del marco regulatorio para los bioenergéticos no incorpora los aspectos enunciados.

Finalmente, si PEMEX no define una estrategia adecuada para incorporar el etanol como oxigenante de gasolinas, sustituyendo el MTBE que usa actualmente, cualquier licitación como las que ha emitido con anterioridad para la compra de etanol no prosperará.

## 9.7 Conclusiones

Los resultados indican que la producción de etanol anhidro en México es viable económicamente; tiene mercado nacional e internacional y requiere de acciones concretas para detonar las inversiones en el campo cañero e ingenios azucareros, para diversificar el aprovechamiento de la caña de azúcar y elevar su productividad y competitividad.

- La producción de etanol anhidro en México es competitiva si el precio de la caña es de \$400.00 por tonelada o menos.
- La incorporación de etanol anhidro para oxigenar gasolinas ofrece ventajas ambientales sobre el uso de MTBE.
- La producción de etanol anhidro a partir de caña abre la posibilidad de diversificar el uso de esta materia prima, con lo que se podría reducir la vulnerabilidad del precio de la caña cuando se depende de un solo producto como el azúcar.
- La reconversión productiva de ingenios azucareros para obtener etanol además de azúcar, podría mejorar la rentabilidad de la agroindustria e incorporar mejoras tecnológicas en esta industria.

**10**

Literatura citada



- Abou-Donia, M., El-Masry, E., Abdel-Rahman, A., McLendon, R., Y Schiffman, S., 2008. Splenda Alters Gut Microflora and Increases Intestinal P-Glycoprotein and Cytochrome in Male Rats. *Revista Toxicol Environ*, 10 (4), 15–29.
- Agra FNP. AGRIANUAL. 2010. *Anuario de Agricultura Brasileira*. 257 p .Bake, van den Wall, M. Junginger, A. Faaij, T. Poot, A. Walter. (2009). “Explanding The Experience Curve: Cost Reduction of Brazilian Ethanol From Sugar-cane”. *BIOMASS & BIOENERGY*, 33(4), 644–658.
- Aguilar, J. 2008. *Edulcorantes artificiales. Alimentación y Nutrición*. Distrito Federal, México: Ergon.
- Aguilar, J.A. 2001. ¿Dulce Alternativa?; Edulcorantes Artificiales. *Revista PROFECO*. México, D.F. Consultado el 29-09-2015 en: [http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos\\_04/edulcorantes\\_abr04.pdf](http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_04/edulcorantes_abr04.pdf)
- Aguilar, R. N., Galindo, G. M., Contreras, C. S., y Fortanelli, J. M. 2010. Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México, *Revista Región y Sociedad*, (52), 261-297.
- Aguilar, R. N., Rodríguez, D. A, Castillo, M. A, y Herrera, S. A. 2012. Sucroquímica, alternativa de diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. *Multiciencias*, 12(1), 7-15.
- Aguilar, R. N., Rodríguez, L. D., & Castillo, M. A. 2010. Azúcar, coproductos y sub-productos en la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar, en *Procesos Virtuales*, 106 (11), Consultado 19-10-15 en: [http://www.revistavirtualpro.com/files/ti02\\_201011.pdf](http://www.revistavirtualpro.com/files/ti02_201011.pdf)
- Aguilar, R. N.; Galindo, G.; Fortanelli, J.; Contreras, C. 2011. Factores de competitividad de la agroindustria de la caña en México. *Región y Sociedad*. xxiii (52) (Septiembre-Diciembre), 261-297.
- Aguilar-Rivera, N. 2007. Bioetanol de la caña de azúcar. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 11(3), 25-39.
- Aguilar-Rivera, N. 2012. Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. *CONVERGENCIA, Revista de Ciencias Sociales*, 19(59), 187-213.

- Aguirre, F. 2012. *El Nuevo Impulso de la Extensión Rural en América Latina Situación actual y perspectivas*. Documento en PDF.
- Alais, Ch. 2003. *Ciencia de la leche, principios de técnicas lecheras*. 4ª. ed. Barcelona, España: Reverté, S.A.
- ALIADOS 2007. *Guía básica por producto para aprovechar el tratado de libre comercio con México*. Cámara de Industria de Guatemala, Asociación Guatemalteca de Exportadores y Ministerio de Economía
- Alison, E. A. 2013. *Edulcorantes y sustitutos del azúcar*. Bogotá, Colombia: Editorial team.
- Alonso, J. R. 2010. Edulcorantes naturales. *La Granja*, 12(2): 3–12. <http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/1371462/01ReviewEdulcorantes-Naturales.pdf>
- Altieri, A. 2012. Bioethanol development in Brazil. In: Sayigh A (ed.) *Comprehensive Renewable Energy*, Volume 5: Biomass and Biofuel Production. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 4442 p.
- Álvarez, M. C. 2009. *Biocombustibles: Desarrollo histórico-tecnológico, mercados, actuales y comercio internacional*. Consultado 17-10-15 en [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQ\\_biocombustibles\\_4a\\_generacion\\_25608.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQ_biocombustibles_4a_generacion_25608.pdf)
- Amalraj, V.A. Balasundaram N. 2006. On the taxonomy of the members of Saccharum complex. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53: 35-41. doi: 10.1007/s10722-004-0581-1
- Amaya O., D. 2012. *Propuesta de postres gourmet elaborados con edulcorantes de bajas calorías*. Tesis de licenciatura. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 59 pp. Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1576>
- Administrador del Mercado Mayorista (AMM). 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en: [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)
- Andreoli, C.; Pimentel, D.; Souza, S.P. 2012. Net Energy Balance and Carbon Footprint of Biofuel From Corn and Sugarcane. In: Pimentel, D. (ed.) *Global Economic and Environmental Aspects of Biofuels*. (pp. 221-248). Boca Raton, United States: CRC Press.
- Andrew, R. 2012. *Edulcorantes bajos en calorías: Funciones y beneficios*. International Sweeteners Asociación. [Monografía].
- Angelo, C. 2012. *Growth of Ethanol Fuel Stalls in Brazil*. *Nature*, v. 491: 646-645
- Anuário da Indústria Automobilística Brasileira (ANFAVEA). 2014. *Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, São Paulo, Brasil*. Disponible en: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>
- Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo (ANP). 2016. *Gás Natural e Biocombustíveis 2015*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Rio de Janeiro, Brasil.
- Arango, C. 2010. Sustitutos del azúcar. La salud bucal del niño y el adolescente en el mundo actual. En: N. Bordoni, A. Escobar, y R. Castillo (Eds.). *Odontología Pediátrica*. (pp. 287–298). Argentina: Medica Panamericana.
- Araújo, E. C. 2014. *Frota brasileira de aviões agrícolas - em dezembro de 2014*. Disponible en: [http://www.agronautas.com/images/pdf/Frota\\_Agricola\\_2014\\_DIVULGAO.pdf](http://www.agronautas.com/images/pdf/Frota_Agricola_2014_DIVULGAO.pdf)
- Arcella, D., Le Donne, C., Piccinelli, R., Y Leclercq, C., (2004). Dietary Estimated Intake of Intense Sweeteners by Italian Teenagers. Present Levels and Projections Derived From The INRAN-R 2001 Food Survey. *Food Chem Toxicol*, 42: 677-85.
- Armstrong, B., Y Doll, R. 1995. Bladder Cancer Mortality in Diabetics in Relation to Saccharin Consumption and Smoking Habits. *Br J Prev Soc Med*; 29(24), 73-81.
- Arruda, P. 2011. Perspective of the Sugarcane Industry in Brazil. *Tropical Plant Biology*, 4(1), 3-8. doi: 10.1007/s12042-011-9074-5
- Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en [www.azucar.com.gt](http://www.azucar.com.gt)
- ASOCAÑA. (2015- 2016). *Informes de la Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia*. Cali, Colombia.

- Associação Brasileira da Indústria para Fins Especiais e Congêneres (ABIAD). *Adoçantes – tire suas dúvidas*. São Paulo: 2011 (acesso em 10 de novembro 2013). Disponível em: [http://www.abiad.org.br/images/conteudo/informativos/cartilha\\_adocantes\\_270911.pdf](http://www.abiad.org.br/images/conteudo/informativos/cartilha_adocantes_270911.pdf)
- Azadi, H., Jong, S., Derudder, B., Maeyer, P.D., Witlox, F. 2012. Bitter Sweet: How Sustainable is Bio-ethanol Production in Brazil? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6): 3599-3603. doi:10.1016/j.rser.2012.03.015
- Badui, D. S. 2006. *Edulcorantes. Química de los Alimentos*, 4ª. ed. México: Pearson. pp. 528-532.
- Badui, S. 2013. Química de los alimentos, *Revista Medical Center Diabetes*, 23(1): 34-65.
- Bain&Company. 2014. *Potencial de diversificação da indústria química brasileira*. Rio de Janeiro, RJ.
- Beltrán V., M. 2010. Acercamiento antropológico de la alimentación y salud en México. *Revista de Saúde Coletiva*, 20(2), 387-411. <http://www.scielo.br/pdf/physis/v20n2/a04v20n2.pdf>
- Banco de Guatemala (BANGUAT). 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2015/ceie01.htm>
- Banco de Guatemala (BANGUAT). 2016. *Importaciones realizadas por partida*. Consultado en mayo 2016. Disponible en: <http://www.banguat.gob.gt/estaeco/ceie>
- Bannwart, M. C. G. C., Bolini, A. H. M., Toledo, F. M. C. Siqueira, B. P. 2007. Application of Neotame in Catchup: Quantitative Descriptive and Physicochemical Analysis. *Alim. Nutr., Araraquara* 18(3): 241-251. <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/160/168>
- Basanta, R., García, D. M. A., Cervantes, M. J., Mata, V. H., Bustos, V. G. 2007. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agrindustria azucarera: Una revisión. *Cienc. Tecnol. Alimet.*, 5(6), 293-305. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11358120709487704>
- Bastos, A.C.; Moraes, M.A.F.D. 2014. Perfil dos fornecedores de cana-de-açúcar na Região centro-sul do Brasil. *Informações Econômicas*, SP, 44(2):1-12.
- Bethizy, D. J. & Hayes, J. R. 1989. *Principios y métodos de toxicología*. 2ª. edición. New York. pp. 34-35.
- Blundell, J., Y Hill, A., 1986. Paradoxical effects of an intense sweetener (aspartame) on appetite. *Lancet*, 1: 1092-1093.
- Boddey RM, Soares LHB, Alves BJR, Urquiaga S. 2008. Bio-ethanol Production in Brazil. In: Pimentel D (ed.), *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Springer Science+Business Media (pp. 321-356). Dordrecht, Nederland.
- Bonilla Landaverry, G.A. 2014. *Debilidad regulatoria de los transgénicos en Guatemala; alternativas, riesgos, amenazas e intereses*. URL: [http://www.redibec.org/IVO/REV22\\_03.17pgs](http://www.redibec.org/IVO/REV22_03.17pgs) en pdf. Documento en línea.
- Borgatti, S. P., Everett, M.G. and Freeman, L.C. 2002. *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Botha F.C, Moore P.H. 2014. Biomass and Bioenergy. In: Moore PH, Botha FC (eds.) *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology*. Hoboken, United States: John Wiley & Sons.
- Brasil. 1981. Decreto-Lei nº 1.872, de 21 de maio de 1981. *Dispõe sobre a aquisição, pelos concessionários, de energia elétrica excedente gerada por autoprodutores, e dá outras providências*. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1965-1988/Del1872.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del1872.htm)
- Brasil. 1995b. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. *Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências*. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19074cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19074cons.htm)
- Brasil. 1996. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. *Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências*. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/18987cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18987cons.htm)

- Brasil. 2004a. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. *Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências*. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm)
- BRASIL. 2013. Ministério da Agricultura. Companhia Nacional de Abastecimento. *Perfil do setor do açúcar álcool no Brasil – safra 2011/2012*, Brasília,.
- BRASIL. 2015a. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese, Rio de Janeiro, RJ.
- BRASIL. 2015b. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Anuário estatístico da agroenergia 2014: statistical yearbook of agrienergy 2014*. Brasília.
- BRASIL. 2015c. Ministério da Agricultura. *Agroestat*. Disponible en: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Consultado en abril de 2016.
- BRASIL. 2016a. Ministério da Agricultura. *Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. – v. 1 – Brasília : Conab, 2016*. 66 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. acesso em: 05 de abril de 2016.
- BRASIL. 2016b. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/index.php?area=5>>. Consultado en: abril de 2016.
- BRASIL. 2008. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Resolução RDC no 18, de 24 de março de 2008. Regulamento Técnico que autoriza o uso de aditivos edulcorantes em alimentos, com seus respectivos limites máximos*. Diário Oficial da União, 2008.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2007). *Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia*. Brasília, DF. 140 p.
- Braskem. 2013. Polietileno Verde I'm Green™ (PE verde I'm green™). Disponible en: <http://www.braskem.com.br/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>
- Bravo, G. R. Cortés, G. R. 2009. *Producción de biocombustibles en México: La caña de azúcar*. Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad Veracruzana. Consultado 17-10-15 en <http://www.uv.mx/cienciahumana/revistae/vol22num1/articulos/produccion/>
- Calorie Control Council. 2013. Sorbitol. Consultado 17-09-2015 en <http://www.caloriecontrol.org/sweeteners-and-lite/polyols/sorbitol>
- Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. 2011. *Sabías que?* [http://www.camaraazucarera.org.mx/pagina\\_2011](http://www.camaraazucarera.org.mx/pagina_2011)
- Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA). 2013, *Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar, Zafra 2000/2001-2010/2011*. Décimo Novena Edición. México.
- Campo Mexicano. 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx>
- Carbajal O., M. L. 2014. *Conocimiento y uso de métodos de planificación familiar en las mujeres de 15 a 44 años de edad, usuarias del C.S.R.D. de San Miguel Ocampo, 2013-2014*. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Cárdenas, J. A. 2010. *Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de la caña de azúcar*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). pp. 6-117. Consultado 17-10-15 en [www.infocana.gob.mx/materiales/Web\\_BIO-COMBUSTIBLES.pdf](http://www.infocana.gob.mx/materiales/Web_BIO-COMBUSTIBLES.pdf)
- Carvalho-Netto, O.V., Bressiani, J.A., Soriano, H.L., Fiori, C.S., Santos, J.M., Barbosa, G.V.S., Xavier, M.A., Landell, M.G.A., Pereira, G.A.G. 2014. The Potential of the Energy Cane as The Main Biomass Crop For The Cellulosic Industry. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2014, 1: 20. DOI: 10.1186/s40538-014-0020-2
- Cavalett, O., Chagas, M.F., Seabra, J.E.A., Bonomi, A. 2013. Comparative LCA of Ethanol Versus Gasoline in Brazil Using Different LCIA Methods. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18: 647-658. doi:10.1007/s11367-012-0465-0

- Celeghini, E. A., Dos Santos, C., y Lanças, F. M. 2000. Experimental Variables and Their Effects on The Liquefaction of Cellulose From Sugar Cane Bagasse. *Energy Sources*, 23: 93–99.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGI-CAÑA). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; y Espinosa, R. (eds.). Guatemala.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar 2016. *Fechas históricas de la agroindustria de la caña en Colombia*. [www.cenicana.org/quienessomos/agroindustria/historia.php](http://www.cenicana.org/quienessomos/agroindustria/historia.php)
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. (CENICAÑA). 2015. *Informe Anual 2014*.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 1995. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cassalett, C.; Torres, J.; Isaacs, C.H (eds). Cali, Colombia.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). 2005. *El impacto de las importaciones de fructosa en la industria azucarera*. Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. Palacio Legislativo de San Lázaro, México, D.F.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2007. *Diagnóstico preliminar de los aspectos agrícolas para producción local de etanol, a base de caña de azúcar en América Central*. PDF.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2012. Escuela de gestores de políticas de ciencias, tecnología e investigación. Presentación en Power Point.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (GIZ) Agencia Alemana de Cooperación Internacional. 2013. *Sistemas de innovación en Centroamérica Fortalecimiento a través de la integración regional*. Santiago de Chile. p. 101. En formato PDF.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2010a. *Química verde no Brasil: 2010–2030*. Brasília, Brasil.
- Chauvet, M. y González, R. L. 2008. Biocombustibles y cultivos biofarmacéuticos: ¿Oportunidades o amenazas?. *El Cotidiano*, 23(147), 51–61.
- Cheavegatti-Gianotto, A., Abreu, H.M.C., Arruda, P. Filho, J.C.B., Burnquist, W.L., Creste, S., Ciero, L., Ferro, J.A., Figueira, A.V.O., Filgueiras, T.S., Grossi-de-Sá, M.F., Guzzo, E.C., Hoffmann, H.P., Landell, M.G.A., Macedo, N., Matsuoka, S., Reinach, F.C., Romano, E., Silva, W.J., Filho, M.C.S., 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. doi: 10.1007/s12042-011-9068-3
- Christofolletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Marinho, J.F.U., Fontanetti, C.S. 2013. Sugar Vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, 33(12), 2752–2761.
- Collison, K., Makhoul, M.Z., Soad M.S., Bernard, A., Inglis, Futwan, A. 2012. Gender Dimorphism in Aspartame-Induced Impairment of Spatial Cognition and Insulin Sensitivity. *Revista Plos One*, 7(4), 121–127. doi: 10.1371/journal.pone.0031570
- CONADESUCA. 2010. *Diagnóstico de la agroindustria cañera de México campo y fábrica*, SAGARPA, Gobierno Federal, México.
- CONADESUCA. 2014. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. *Balance nacional de edulcorantes*. <http://www.infocaña.gob.mx/7> de julio 2014.
- CONADESUCA. 2015. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. *Balance nacional de edulcorantes*. <http://www.infocaña.gob.mx/7> de marzo 2015.
- Córdova, S. S., Antonio, A. R., Mazairo, S. R., Ivani, B. E., Arévalo, C. L. U. Chaila, S., Fustaino, M. L. 2014. *Saccharum spp. en Brasil. Una revisión. Avances de investigación agropecuaria*, 18: 49–64. Disponible en <http://www.uco.mx/revaia/portal/pdf/2014/sept/4.pdf>
- Coslovsky, S.V. 2014. Flying Under The Radar? The State and The Enforcement of Labour Laws in Brazil. *Oxford Development Studies*, 42: 169–195. <http://ssrn.com/abstract=2349113>

- Cremonez, P.A., Feroldi, M., Araújo, A.V., Borges, M.N., Meier, T.W., Feiden, A., Telesen, J.G. 2015b. BBoifuels in Brazilian Aviation: Current Scenario and Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43: 1063-1072. doi:10.1016/j.rser.2014.11.097
- CTBE. 2014. CTBE: *Laboratório Nacional de excelência em bioenergia*. Disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/o-ctbe/>
- CTC. 2014. *CTC e Esalq firmam nova parceria*. Disponível em: <http://www.ctcana-vieira.com.br/site/index.php/sala-de-imprensa/releases/78-ctc-e-esalq-firmam-nova-parceria>
- Cubero, N., Monferrer, A., y Villalta, J. 2002. Edulcorantes. En *aditivos alimentarios* (pp. 189-210). España: Grupo Mundi-Prensa.
- Dantas, G.A., Legey, L.F.L., Mazzone, A. 2013. Energy from Sugarcane Bagasse in Brazil: An Assessment of The Productivity and Cost of Different Technological Routes. *Renewable and Sustainable Reviews*, 21: 356-364. doi:10.1016/j.rser.2012.11.080
- Dautant, S. F. A. 1985. *Estudio sobre la producción de ácido láctico a partir de un proceso de fermentación de melaza*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. Consultado 12-10-15 en <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080074539.PDF>
- Davis, S.C., Anderson-Teixeira, K.J., DeLucia, E.H. 2009. Life-cycle Analysis and The Ecology of Biofuels. *Trends in Plant Science*, 14(3), 140-146. doi: 10.1016/j.tplants.2008.12.006
- DeCicco, J.M. 2015. The Liquid Carbon Challenge: Evolving Views on Transportation Fuels and Climate. *Wires Energy and Environment*, 4(1), 98-114. doi: 10.1002/wene.133
- Diez F. Garrido N. 2015. *Bagazo de caña de azúcar: Energía o etanol carburante? Dos casos de estudio*. <http://www.cubasolar.cub/biblioteca/escolar> p.1-19.
- DOE. 2006. *Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol: A Joint Research Agenda*. United States Department of Energy, Washington, United States.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-015-SSA2-1994 para la prevención, tratamiento y control de la diabetes. 18 de enero de 2001.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2008. *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 15 de abril de 2014. ACUERDO por el que se emiten los Lineamientos a que se refiere el artículo 25 del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios que deberán observar los productores de alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasadas para efectos de la información que deberán ostentar en el área frontal de exhibición, así como los criterios y las características para la obtención y uso del distintivo nutrimental a que se refiere el artículo 25 Bis del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios. Disponible en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5340693&fecha=15/04/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5340693&fecha=15/04/2014)
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 14 de agosto de 2014. MODIFICACIÓN de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria, publicada el 5 de abril de 2010. Se adicionan los incisos 3.2; 3.5; 3.17; 3.18; 3.21; 3.40; 4.2.9 con sus subincisos y se ajusta la numeración subsecuente; 4.5 con sus subincisos y el Apéndice Normativo A. Se modifica el capítulo 2 Referencias, así como el literal b) del inciso 3.11; 3.15; 4.2.8.1. Se ajusta numeración del capítulo 3 Definiciones, símbolos y abreviaturas. Disponible en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5356328&fecha=14/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356328&fecha=14/08/2014)
- Durán A., Quijada, M., Silva, V., Almonacid M., Berlanga, Z., y Rodríguez, N. 2011. Niveles de ingesta diaria de edulcorantes no nutritivos en escolares de la región de Valparaíso. *Rev Chil Nutr*, 38(4), 444-449.
- Durán, A. S., Cordon, A. K. y Rodríguez, N. M. P. 2013. Edulcorantes no nutritivos, riesgos, apetito y ganancia de peso. *Rev Chil Nutr*, 40(3), 309-314.
- Dürre, P. 2007. Biobutanol: An Attractive Biofuel. *Biotechnology Journal*, 2: 1525-1534. doi: 10.1002/biot.200700168

- Echavarría, S. A. & Velasco, O. H. G. 2012. *Edulcorantes utilizados en alimentos*. Repositorio Digital Institucional. Instituto Politécnico Nacional (IPN). Consultado 12-09-2015, en <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/8166>
- Edulcorantes artificiales usos y diferencias. 2012. Consultado 24-09-2015, en <http://alimentarnos.com/blog/2012/01/30/edulcorantes-artificiales-usos-y-diferencias/>
- Ekboir, J. 2006. *How to Build Innovation Networks. In Agricultural Innovation Systems. An Investment Sourcebook*, edited by The World Bank, 44–51. Washington D.C., US: The World Bank.
- Embraer. 2004. *Ethanol-fueled Ipanema Certified by The CTA*. Disponible en: <http://www.embraer.com/en-US/ImprensaEventos/Press-releases/noticias/Pages/IPANEMA-MOVIDO-A-ALCOOL-E-CERTIFICADO-PELO-CTA.aspx>
- Embraer. 2014. *Embraer Celebrates 10<sup>th</sup> Anniversary of Ethanol-Powered Ipanema*. Disponible en: <http://www.embraer.com.br/en-US/ImprensaEventos/Press-releases/noticias/Pages/Embraer-celebra-dez-anos-do-Ipanema-movido-a-etanol.aspx>
- Environ-Health, T.J. 2008. Splenda Alters Gut Microflora and Increases Intestinal P-Glycoprotein and Cytochrome p-450 In Male Rats. *Revista Pub Med*, 71(21), 15-29.
- EPE 2014a *Plano Decenal de Expansão de Energia 2023*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, Brasil. Disponible en: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2023.pdf>
- EPE 2015 *Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, Brasil.
- Erazo, F. 1981. *Obtención de alcohol etílico a partir de melaza*. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
- Espinoza, G. A. R. 2014. *Evaluación del consumo de azúcar adicionada a la dieta, prevalencia de dislipidemias y riesgo de enfermedad cardiovascular, en la cohorte de trabajadores de la salud, 2013-2014*. Tesis profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. En <http://ri.uaemex.mx/handle/123456789/14475>
- Esteban F., J.M. 2013. Las interacciones alimento-medicamento: interacciones con xenobióticos. *Interacciones*, Julio-Agosto: 36-45.
- Ethanol REA – Renewable Fuels Association. 2016. *Ethanol Industry Outlook*, Washington, DC.
- F.O. Lichts and Agra CEAS Consulting. 2007. *Ethanol Production Cost a Worldwide Survey*, Agra Informa Ltd., United Kingdom.
- Fajardo, C. E., & Constanza-Sarmiento, S. 2007. *Análisis físico y químico de carbón activado preparado a partir de bagazo de caña de azúcar y su uso para decoloración de azúcar*, Tesis de maestría, Microbiólogas Industriales en la Facultad de Ciencias Básicas de la Pontificia Universidad, Bogotá, Colombia. Consultado 10-10-15 en <http://www.revistavirtualpro.com/revista/agroindustriazucarera/20#sthash.CsdCsfW3.dpuf>
- Falquez Ch., J.C. 2014. *Factibilidad de la actividad de producir y comercializar miel de abeja en la ciudad de Guayaquil*. Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. *Garantía de la inocuidad y calidad de los alimentos: directrices para el fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos*. Italia, Roma. Consultado el 29 de Septiembre del 2015: <http://www.fao.org/3/a-y8705s.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. *Conferencia Regional sobre la Inocuidad de los Alimentos para las Américas y el Caribe*. Estrategia de la FAO para suministro de alimentos inocuos y nutritivos. San José, Costa Rica. Consultado el 29 de Septiembre del 2015: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/Meeting/010/af262s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2011. *Estado del arte y novedades de la bioenergía en México*. Consultado 17-10-15 en <http://www.fao.org/3/a-i0100s.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. *Faostat – Statistics Database*. Disponible en: <http://www.faostat.fao.org/faostat>. Consultado el 05 de abril de 2016.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAO-OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización Mundial de la Salud) 1999. *Comisión del Codex Alimentarius: Manual de procedimiento* - Décima edición. Roma, Italia. En <http://www.fao.org/docrep/w5975s/w5975s00.htm#Contents>
- FAO-OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización Mundial de la Salud). 2007. *Codex alimentarius: Etiquetado de los alimentos*. Quinta Edición. Roma, Italia. Disponible en [ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/Booklets/Labeling/Labeling\\_2007\\_ES.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/Booklets/Labeling/Labeling_2007_ES.pdf)
- FAOSTAT. 2011. *Sugarcane Production*. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- FAOSTAT. 2015. *Sugarcane Production*. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P. 2008. *Land Clearing and The Biofuel Carbon Debt*. *Science*, 319: 1235-1238. doi: 10.1126/science.1152747
- Fedepanela 2012. *Precios promedios semanales de la panela al productor año 2012*. <http://www.fedepanela.org.co>
- Federación Argentina de Graduados en Nutrición (FAGRAN). 2007. Consultado 23-09-2015 en [http://www.fagran.org.ar/azucares\\_SeminarioEdulcorantes.php](http://www.fagran.org.ar/azucares_SeminarioEdulcorantes.php)
- FIRA. 2009. *Competitividad de la Industria del Azúcar en México*. <http://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- FIRA. 2010. *Producción Sostenible de Caña de Azúcar en México*. <http://www.fira>.
- Fukushima, S. , Arai, M., Nakanowatari, J., Hibino, T., Y Okuda, M. 1983. Ito N. Differences in Susceptibility to Sodium Saccharin Among Various Strains of Rats and Other Animal Species. *Gann*, 7(4), 8-20.
- Galdos, M.; Cavalett, O.; Seabra, J.E.A.; Nogueira, L.A.O.; Bonomi, A. 2013. Trends in Global Warming and Human Health Impacts Related to Brazilian Sugarcane Ethanol Production Considering Black Carbon Emissions. *Applied Energy* 104: 576-582. doi:10.1016/j.apenergy.2012.11.002
- Galindo, M. M. G. 2003. *La reorganización económica y espacial de la agroindustria azucarera mexicana en el marco del Tratado de Libre Comercio: Problemática, implicaciones y alternativas*. Tesis Doctoral en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Gálvez, M. M. M. 2013. La química en la conservación y protección de los alimentos. En *La química en la vida cotidiana*. Barthelemy, G. C., Cornago, R. P., Esteban, S. S. & Gálvez, M. M. M. (Eds.) Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- García C. R. 2006. Conferencia Magistral “Caña de Azúcar: Energía el future”. Universidad Veracruzana.
- García-Almeida, J. M., Casado, F. G. M. y García, A. J. (2013). Una visión global y actual de los edulcorantes. Aspectos de regulación. *Nutrición Hospitalaria*, 28(4), 17-31.
- Garcidueñas, P. 2015. Endulzantes ¿de dónde vienen y para qué sirven? *Revista el consumidor*, 45(5), 122-134.
- GEPLACEA 1988. *Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera*, Serie diversificación, Geplacea / PNUD. México, D.F. México.
- Gerez, J. C., Gerez, M. C., y Miller, J. 1987. *Procedimiento e instalación para obtener etanol por la hidrólisis ácida continua de materiales celulósicos*. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial.
- Germain Lefevre, A.; Ramírez, M.H. 2010. *Primera aproximación a las oportunidades y amenazas de los biocombustibles en Centroamérica*. 1ª.ed. San Salvador, El Salvador. FUNDAE. En formato PDF.
- Giampietro, M., Bukkens, S.G.F. 2012. Biofuel and The World Population Problem. In: Pimentel D (ed.) *Global Economic and Environmental Aspects of Biofuels*. CRC Press, Boca Raton, United States.

- Giampietro, M., Mayumi, K. 2009. *The Biofuel Delusion: The Fallacy of Large-scale Agro-biofuel Production*. Earthscan, London, United Kingdom.
- Giannuzzi, L. & Molina, O. S. E. 1995. Edulcorantes naturales y sintéticos: aplicaciones y aspectos toxicológicos. *Acta Farm. Bonaerense*, 14(2), 119–131. Disponible en [http://www.latamjpharm.org/trabajos/14/2/LA-JOP\\_14\\_2\\_2\\_1\\_O7PY4U1EJI.pdf](http://www.latamjpharm.org/trabajos/14/2/LA-JOP_14_2_2_1_O7PY4U1EJI.pdf)
- Gil, A., y Ruíz, M. 2010. Tratado de nutrición, Tomo II: *Composición y calidad nutricional de los alimentos* (2a ed.). España: Medica Panamericana.
- Gil-Campos, M., San José González, M. A., Díaz, M. J. J., y Comité de Nutrición de la Asociación Española de Pediatría. 2015. Uso de azúcares y edulcorantes en la alimentación del niño. Recomendaciones del Comité de Nutrición de la Asociación Española de Pediatría. *An. Pediatr (Barc)*: xxx.e1 – xxx.e7. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anpedi.2015.02.013>
- Global Partnership Initiative for Plant Breeding Capacity Building (GIPB), -GLOBAL CROP DIVERSITY TRUST. 2009. *Plant Breeding and Related Biotechnology Capacity*. Report. Guatemala. En formato PDF.
- Glória, N.A.; Orlando-Filho, J. 1984. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussão sobre o que foi pesquisado. *Álcool e Açúcar*, 16: 22-31.
- Gnansounou, E. 2010. Production and Use of Lignocellulosic Bioethanol in Europe: Current Situation and Perspectives. *Bioresource Technology* 101(13): 4842–4850. doi:10.1016/j.biortech.2010.02.002
- Goldemberg, J., Mello, F.F.C., Cerri, C.E.P., Davies, C.A., Cerri, C.C. 2014. Meeting the Global Demand for Biofuels in 2021 Trough Sustainable Land Use Change Policy. *Energy Policy* 69: 14–18. doi:10.1016/j.enpol.2014.02.008
- Gómez, S., Ramírez, J., Garrote, G., y Vázquez, M. 2004. Manufacture of Fermentable Sugar Solutions From Sugar Cane Bagasse Hydrolyzed With Phosphoric Acid at Atmospheric Pressure. *J. Agric. Food Chem.*, 52(13), 4172–4177.
- Gómez, V. A. 2003. *Degradación de los componentes celulares de gramíneas forrajeras con la adición de enzimas fibrolíticas y la respuesta productiva de bovinos en pastoreo*. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- González, Ch. A. 2013. Posición de consenso sobre las bebidas con edulcorantes no calóricos y su relación con la salud. *Revista Mexicana de Cardiología* 24(2), 55–68. En <http://www.medigraphic.com/pdfs/cardio/h-2013/h132a.pdf>
- González, J. V., Valdez, B. A., Gómez, M. F., Silva, R. H., Pérez, F. J., y Ortiz, G. C. 2011. Caracterización molecular de variedades de caña de azúcar cultivadas en el estado de Tabasco, México. *Bioteología Vegetal*, 11(2), 107–113.
- González-Moralejo, S. A. 2011. Aproximación a la comprensión de un endulzante natural alternativo, la *Stevia rebaudiana* Bertoni: producción, consumo y demanda potencial. *Revista Agroalimentaria*, 17(32): 57–69. Disponible en <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/agroalimentaria/article/view/1687>
- GranBio. 2014. *GranBio inicia produção de etanol de segunda geração*. Disponible en: [http://www.granbio.com.br/wp-content/uploads/2014/09/partida\\_portugues.pdf](http://www.granbio.com.br/wp-content/uploads/2014/09/partida_portugues.pdf)
- GranBio. 2015. *Estação Experimental*. Disponible en: <http://www.granbio.com.br/conteudos/estacao-experimental/>
- Grande, C. F., Varela, G., Carbajal, A. y Moreiras, O. 1995. *Propiedades nutricionales del azúcar y la evolución de su consumo en los últimos treinta años (1964-1994)*. Madrid, España. [Monografía].
- Guimarães, C.T., Sobral, B.W.S. 1998. The Saccharum Complex: Relation to Other Andropogoneae. In: Janick J (ed.) *Plant Breeding Reviews: Vol.16*. Hoboken, United States; John Wiley & Sons.
- Haley, S. 2013. *World Raw Sugar Prices*. USDA, Outlook, 2013, Disponible en: <http://www.ers.usda.gov/media/1118921/sssm29701.pdf>
- Hasrajani, N. 2004. La industria azucarera en Guatemala: Una Visión Global. *ISJ*, 106(1267), 385–389.
- Herrera, J.; Orive, J.; Boesche, A. 2001. Guatemala Sugar industry. *INT. SUGAR ISJ*, 103(1235), 484–485.
- Hofsetz, K., Silva, M.A. 2012. Brazilian Sugarcane Bagasse: Energy and Non-energy Consumption. *Biomass and Bioenergy*, 46: 564–573. doi:10.1016/j.biombioe.2012.06.038

- Hoje em dia. 2016. *Com nome diferente do usado no exterior, Coca-Cola Life desembarca no Brasil* – <http://hojeemdia.com.br/primeiro-plano/com-nome-diferente-do-usado-no-externo-coca-cola-life-desembarca-no-brasil-1.379866>
- Howe, G., Burch, J., Y Miller, A., 1977. Artificial Sweeteners and Human Bladder Cancer. *Revisit Lancet*, 2(5), 78-81.
- Hsu, H. 1986. *Oriental Materia Medical*. EE.UU: Oriental Healing Arts Institute, USA.
- IBRAC - Instituto brasileiro da cachaça. *Informações a imprensa*. Disponible en: [http://ibrac.net/images/PDF/Informacoes\\_Imprensa\\_IBRAC\\_Cachaça\\_2015.pdf](http://ibrac.net/images/PDF/Informacoes_Imprensa_IBRAC_Cachaça_2015.pdf). Consultado abril de 2016.
- IFPRI (Instituto Internacional de Investigación en Políticas Alimentarias), IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2008. *I&D Agropecuaria en América Central políticas, inversiones y perfil institucional*. Informe regional ASTI. En formato PDF.
- Industria y Comercio-Superintendencia 2012. *Estudios de Mercado-Cadena productiva de la panela en Colombia: diagnóstico de libre competencia (2010-2012)*. pp. 1-20.
- Instituto de bebidas para la salud y el bienestar [IBSB]. 2013. Consultado 23-09-2015, en <http://www.institutodebebidas.org/article/acesulfame-potassium-acesulfame-k/#>
- International Sugar Journal. 1998. Guatemala continúa la trayectoria de éxitos. *ISJ*, 100(1190), 46.
- International Sugar Organization (ISO). 2012. *Edulcorantes alternativos en un contexto de altos precios del azúcar*. MECAS (12)04. Disponible en [http://www.isosugar.org/Members%20documents/2012/MECAS\(12\)04%20Alternative%20Sweeteners%20in%20a%20Higher%20Sugar%20Price%20Environment%20-%20Spanish.pdf](http://www.isosugar.org/Members%20documents/2012/MECAS(12)04%20Alternative%20Sweeteners%20in%20a%20Higher%20Sugar%20Price%20Environment%20-%20Spanish.pdf)
- International Sugar Organization (ISO). 2012. *Edulcorantes alternativos en un contexto de altos precios del azúcar*. Canadá: Autor. Disponible en <http://www.isosugar.org/Members%20documents/2012/MECAS%2812%2904%20-%20Alternative%20Sweeteners%20in%20a%20Higher%20Sugar%20Price%20Environment%20-%20Spanish.pdf>
- International Sugar Organization (ISO). 2012. *Outlook of Sugar and Ethanol Production in Brazil*. London, UK,
- International Sugar Organization (ISO). 2012b. *World Fuel Ethanol Outlook to 2020*. International Sugar Organization, London, United Kingdom.
- International Sugar Organization (ISO). 2015. *World Sugar Balance*, agosto 2015.
- Íñiguez-Covarrubias, G., Lange, S. E., & Rowell, R. M. 2001. Utilization of By Products From The Tequila Industry: Part 1: Agave Bagasse As Raw Material For Animal Feeding and Fiberboard Production. *Biores. Tech.* 77, 25-32.
- Islas O. R. M. 2007. La agroindustria y sus coproductos: oportunidad interdisciplinaria, *Ciencia y el hombre*, 20(3).
- Jackson, P. 2013. Energy cane. In: Saha MC, Bhandari HS, Bouton JH (ed.) *Bioenergy Feedstocks: Breeding and Genetics*, First Edition. Hoboken, United States; John Wiley & Sons.
- Janssen, R., Rutz, D.D. 2011. Sustainability of Biofuels in Latin America: Risks and Opportunities. *Energy Policy*, 39(10), 5717-5725. doi:10.1016/j.enpol.2011.01.047
- Jing, M., Bellon, M., Wishart, J., Young, R., Blackshaw, A., Jones, K., Horowitz, M., Y Rayner, C., 2009. Effect of the Artificial Sweetener, Sucralose, on Gastric Emptying and Incretin Hormone Release in Healthy Subjects. *Am J of Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 296(4), 735-9.
- Jonas, R. y Silveira, M. M. 2004. Sorbitol Can Be Produced Not Only Chemically But Also Biotechnologically. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 118: 321-334. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15304760>
- Joyanes, V. C. 2014. *Determinación de edulcorantes artificiales en bebidas*. Tesis de maestría. Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Experimentales, España.
- Kamimura, A.; Sauer, I.L. 2008. The Effect of Flex Fuel Vehicles in The Brazilian Light Road Transportation. *Energy Policy*, 36(4): 1574-1576. doi:10.1016/j.enpol.2008.01.016

- Kasangian, J. H. 2010. *Jarabe de maíz de alta fructose y su relación con la obesidad*. Consultado 13-09-2015 en <http://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=67306>
- Kist, B.B.; dos Santos, C.E.; Carvalho, C.C.; Mendes, L. *Anuário brasileiro da cana-de-açúcar (2015)*. Santa Cruz do Sul, RS. Editora Gazeta Santa Cruz, 2015.
- Lapola, D.M., Schaldach, R., Alcamo, J., Bondeau, A., Koch, J., Koelking, C., Priess, J.A. 2010. Indirect Land-use Changes Can Overcome Carbon Savings from Biofuels in Brazil. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 107(8): 3388-3393. doi: 10.1073/pnas.0907318107
- Larrahondo, J.E. 2015. *El proceso azucarero en pocas palabras*. Santiago de Cali: Ed. Catorse, 2015. Cali, Colombia.
- Larrahondo, J.E.; Boscolo, M. 2015. *Derivados de la caña de azúcar y Sucroquímica: una visión científica y tecnológica*. Santiago de Cali: Ed. Catorse, 2015. Cali, Colombia.
- Leal, M.R.L.V., Galdos, M.V., Scarpore, F.V., Seabra, J.E.A., Walter, A., Oliveira, C.O.F. 2013b. Sugarcane Straw Availability, Quality, Recovery and Energy Use: A Literature Review. *Biomass and Bioenergy*, 53: 11-19. doi:10.1016/j.biombioe.2013.03.007
- Leal, M.R.L.V., Macedo, I.C. 2004. Evolução tecnológica dos sistemas de geração de energia nas usinas de açúcar e álcool. *Biomassa & Energia* 1(3), 245-253. <http://www.renabio.org.br/04-B&E-v1-n3-2004-p245-253.pdf>
- Leal, M.R.L.V., Nogueira, L.A.H., Cortez, L.A.B. 2013c. Land Demand For Ethanol Production. *Applied Energy*, 102: 266-271. doi:10.1016/j.apenergy.2012.09.037
- Leal, M.R.L.V., Walter, A.S., Seabra, J.E.A. 2013a. Sugarcane As An Energy Source. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 3(1): 17-26. doi: 10.1007/s13399-012-0055-1
- Leite, R.C.C., Leal, M.R.L.V., Cortez, L.A.B., Griffin, W.M., Scandiffio, M.I.G. 2009. Can Brazil Replace 5 % of the 2025 Gasoline World Demand With Ethanol? *Energy*, 34(5), 655-661. doi:10.1016/j.energy.2008.11.001
- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., y Ah-Hend, K. 2012. *Stevia Rebaudiana* Bertoni, Source of a High-Potency Natural Sweetener: A Comprehensive Review on the Biochemical, Nutritional and Functional Aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121-1132. doi:10.1016/j.foodchem.2011.11.140
- Liu, J., Jin-wey, L., y Jian, T. 2010. Ultrasonically Assisted Extraction of Total Carbohydrates From *Stevia rebaudiana* Bertoni and Identification of Extracts. *Food and Bioprocess Technology*, 88(2-3), 215-221. doi:10.1016/j.fbp.2009.12.005
- López, A., y Canales, M. 2004. Edulcorantes. En G. Garibay, R. Quintero, & L. M. (Edits.), *Biotecnología Alimentaria* (pp. 519-552). México: Limusa Noriega Editores.
- López, Z.D.I. 2013. *Utilización de edulcorantes no calóricos para el paciente pediátrico con diabetes tipo I*. Tesina de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F.
- Lorenzo, A. 2009. *La producción de Biocombustibles y sus proyecciones a futuro en Guatemala*. Asociación de Combustibles Renovables, ACR. [www.acrguatemala.com](http://www.acrguatemala.com)
- Luo, L., van der Voet, E., Huppel, G. 2009. Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Bioethanol From Sugarcane in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1613-1619. doi:10.1016/j.rser.2008.09.024
- Macías M., A.I., Gordillo S., L.G., Camacho R., E.J. 2012. Hábitos alimentarios de niños en edad escolar y el papel de la educación para la salud. *Rev Chil Nutr*, 39(3), 40-43.
- Manzatto, C.V.; Assad, E.D.; Bacca, J.F.M.; Zaroni, M.J. Pereira, S.E.M. 2009. *Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar. Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- MAPA 2013a. *Anuário Estatístico da Agroenergia 2012*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, Brasil. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/anuario\\_agroenergia\\_web\\_2012.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia_web_2012.pdf)

- Maronea, P., Borzellecab, J., Merkela, D., Heimbachc, J., y Kennepohld, E. 2008. Twenty Eight-Day Dietary Toxicity Study of Luo Han Fruit Concentrate in Hsd:SD Rats. *Food and Chemical Toxicology*, 46(3), 910–919. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18037551>
- Martínez M., C.E. 2012. *Creación de una microempresa productora y comercializadora de gelatinas florales en 3D en la ciudad de Quito*. Tesis de licenciatura, Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador.
- Masera, C. O. 2010. *La bioenergía en México: Un catalizador del desarrollo sustentable. Red Mexicana de Bionergía*. Obtenido el 17/10/2015 de <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/libro-blanco-bioenergia-2006.pdf>
- Matsuoka, S., Kennedy, A.J., Santos, E.G.D., Tomazela, A.L., Rubio, L.C.S. 2014. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects. *Advances in Botany*, ID 597275. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>
- McSweeney, J.F. 2005. Guatemala From Zero to Major Exporter 1960-2004. *Proc ISSCT*, 25: 465-470.
- Meléndez, G. 2008. Alimentos ricos en edulcorantes con valor energético y grasas, y su relación con la salud. En Acosta E. M. E. (Ed.) *Factores asociados con sobrepeso y obesidad en el ambiente escolar* (pp: 77–90). México: Fundación Mexicana para la salud: Editorial Médica Panamericana.
- Melgar, M.; Quemé, J. 2015. Adaptación del cultivo de la caña de azúcar al cambio climático de Guatemala. *Sugar-Journal*, 77(8), 20- 29.
- Melis, M., Rocha, S., y Augusto, A. 2009. Steviol Effect, A Glycoside of Stevia rebaudiana, On Glucose Clearances In Rats. *Braz J Biol*, 69(2), 371-4. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842009000200019>
- Menéndez, M.; Estévez, M. 2005. *Reporte de inteligencia competitiva, DCE, Ministerio de Economía de El Salvador*. Artículo electrónico. [http://www.elsalvadorcompetitivo.gob.sv/Reportes %20IC/Reporte %20de %20Inteligencia %20Competitiva %20\\_azucar.pdf](http://www.elsalvadorcompetitivo.gob.sv/Reportes%20IC/Reporte%20de%20Inteligencia%20Competitiva%20_azucar.pdf)
- Meneses A.; Melgar, M.; Posadas, W. 2015. Series históricas de producción, exportación y consume de azúcar en Guatemala. *Boletín estadístico*, 16: 18 p. En: [www.cengicana.org](http://www.cengicana.org)
- Meneses, A.; Melgar, M.; Cano, W. 2003. Desarrollo de la agroindustria azucarera en Guatemala. *Sugar Journal*, 62(5), 18-19.
- Mercola 2013. Consultado el 20-10-2015 en <http://espanol.mercola.com/boletin-de-salud/sustitutos-de-azucar.aspx>
- Mertens, L. 2008. *Hacia el trabajo decente en el sector del azúcar, México*. Organización Internacional del Trabajo. Ginebra, Suiza. Consultado el 29 de septiembre del 2015: [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_dialogue/---sector/documents/publication/wcms\\_160869.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_160869.pdf)
- Mikkola, J.P., Sklavounos, E., King, A.W.T., Virtanen, P. 2015. The Biorefinery and Green Chemistry. In: Bogel-Lukasik R (ed.) *Ionic Liquids in the Biorefinery Concept: Challenges and Perspectives*, RSC Green Chemistry No. 36. The Royal Society of Chemistry, London, United Kingdom.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR 2012. *Los TLC le abren las puertas al sector panelero colombiano*. Recuperado de: <http://www.minagricultura.gov.co>.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA). 2012. *Plan estratégico institucional del MAGA*. p. 11. En formato PDF
- Mirón, D. 2012. *Guatemala, situación actual y potencial de las exportaciones de etanol al mercado internacional y relación con el marco legal*. Universidad Del Valle de Guatemala. [www.uvg.edu.gt/.../4. %20Situacion\\_actual\\_y\\_potencial\\_de\\_las\\_exportaciones\\_de\\_eta](http://www.uvg.edu.gt/.../4.%20Situacion_actual_y_potencial_de_las_exportaciones_de_eta).
- Molina, M. 2010. *Formulación de lineamientos de política en materia de eficiencia energética en sectores clave de la economía mexicana para el programa especial de cambio climático*. pp. 9-169. Consultado 17-10-15 en [www.inecc.gob.mx/cclimatico/descargas/e2007d.pdf](http://www.inecc.gob.mx/cclimatico/descargas/e2007d.pdf)
- Moraes, M.A.F.D.; Zilberman, D. 2014. *Production of Ethanol from Sugarcane in Brazil*. New York.
- Moreira, M., Gurgel, A.C., Seabra, J.E.A. 2014. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Sugar Cane Renewable Jet Fuel. *Environmental Science & Technology* 48(24), 14756-14763. doi: 10.1021/es503217g

- Morris, D. 2005. *The Carbohydrate Economy, Biofuels and the Net Energy Debate*. Institute for Local Self-Reliance, Minneapolis, United States.
- Mortensen, A. 2006. Sweeteners Permitted in the European Union: Safety Aspects. *Scandinavian Journal Food Nutrition*, 50(3), 104-116. doi: 0.1080/17482970600982719
- Muñoz R., M. 2010. Identificación de problemas y oportunidades en las redes de valor agroindustriales. In: Aguilar, A. J., J. R. Altamirano C., y R. Rendón M. (coord.). *Del extensionismo agrícola a las redes de innovación rural*. (pp. 103-168). México: CIESTAAM-UACH.
- Muñoz, M. 2015. *Boletín Estadístico Cogeneración*, 15: 3 24 p. En: www.cengicana.org
- Nalebuff B., J. y A. M., Brandenburger. 2005. *Coo-petencia*. Grupo Editorial Norma. Bogotá, Colombia.
- Navarro, M. 2012. Aspectos bromatológicos y toxicológicos de los edulcorantes. In Cameán, A. M. & Repetto, M. (Eds.), *Toxicología alimentaria* (pp. 475-497). España: Ediciones Díaz de Santos.
- Neto, A.E.; Shintaku, A. 2009. *Uso e reuso de água e geração de efluentes*. In: BRASIL. ANA – Agência Nacional das Águas. Manual de conservação e reuso da água na indústria sucroenergética, Brasília.
- Neves, M.F.; Trombin, V.G. A. 2014. *Dimensão do Setor Sucroenergético - Mapeamento e Quantificação da Safra 2013/14*. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace.
- Nogueira, L.A.H., Capaz, R.S. 2013. Biofuels in Brazil: Evolution, Achievements and Perspectives on Food Security. *Global Food Security*, 2(2). 117-125. doi:10.1016/j.gfs.2013.04.001
- Nogueira, L.A.H., Moreira, J.R., Schuchardt, U., Goldemberg, J. 2013. The Rationality of Biofuels. *Energy Policy*, 61(C), 595-598. <http://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:enepol:v:61:y:2013:i:c:p:595-598>
- Nonoal Z., E. 2011. *Factores familiares asociados a conductas de riesgo alimentarias en adolescentes del CCH Vallejo*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.
- Norse, D. 2012. Low Carbon Agriculture: Objectives and Policy Pathways. *Environmental Development*, 1(1), 25-39. doi:10.1016/j.envdev.2011.12.004
- NovaCana 2016. *As usinas de açúcar e etanol no Brasil*. Disponible en: <<https://www.novacana.com/usinas-brasil>>.
- NovaCana. 2013. *Dow e Mitsui adiam fábrica de plástico 'verde'*. Disponible en: <http://www.novacana.com/n/industria/investimento/dow-mitsui-adiam-fabrica-plastico-verde-090113/>
- Novacana. 2016. Disponible en: <<https://www.novacana.com/n/acucar/mercado/raizen-custo-producao-acucar-brasil-mais-baixos-mundo-210316/>>.
- Nuñez, JP, Barroso, M. 2004. *Etanol como combustible*. Diplomado práctico en ingenierías alternativas. Secretaría de estado de industria y comercio (SEIC), Colegio Dominicano de Ingenieros. Santo Domingo, República Dominicana.
- Nyko, D., Faria, J.L.G., Milanez, A.Y., Castro, N.J., Brandão, R., Dantas, G.A. 2011. Determinantes do baixo aproveitamento do potencial elétrico do setor sucroenergético: uma pesquisa de campo. *BNDES Setorial*, 33: 421-476. Disponible en [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3312.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3312.pdf)
- Nyko, N.; Valente, M.S.; Milanez, A.Y.; Tanaka, A.K.R.; Rodrigues, A.V.P. 2013. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? *BNDES Sectorial*, 37: 399-442. Disponible en [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3710.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3710.pdf)
- O'Brien, L. 2012. *Alternative Sweeteners* (4a. ed.). EE.UU: CRC Press.
- O'Donnell, K., & Kearsley, M. 2012. *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (2da ed.). EE.UU: Wiley-Blackwell.
- OCDE/FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. *Perspectivas agrícolas 2013-2022*. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2013-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es)

- OECD-FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development-Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2015, OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris.
- Oliveira, M. 2008. Diesel de cana. *Revista FAPESP*, 153: 88-90. Disponible en [http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2008/11/90\\_911.pdf?f?53dfe8](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2008/11/90_911.pdf?f?53dfe8)
- Olney, J., Farber, N., Spitznagel, E., Y Robins, L., 1996. Increasing Brain Tumor Rates: Is There a Link to Aspartame?, *Neuropathol Exp Neurol*, 55: 1115-1123.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2000. Consultado 28-09-2015, en <http://www.who.int/es/>
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2014. Global Health Observatory Data Repository. Disponible en <http://apps.who.int/gho/data/node.main.1?lang=en>
- Orlando Filho, J.; Bittencourt, V.C.; Alves, M.C. 1995. *Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio*. IN: Congreso Nacional da Sociedade de Tecnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Vol. 13(06), 14-17. Rio de Janeiro, Annais.
- Ortiz, A., Valdivié, M., Elías, A. 2008. Evaluación del bagazo de caña y el bagazo más ceniza de central azucarero, como cama para pollos de engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(2), 179-184.
- Osorio, C.B. 2007. *Manual de la planta de Stevia rebaudiana Bertoni*. Bogotá, Colombia. Librería Siglo.
- Palencia, Y. 2002. *Alimentación y Salud; Claves para una buena alimentación*. (USA). Consultado el 29 de Septiembre del 2015: [http://www.unizar.es/med\\_naturista/Alimentacion%20y%20Salud.pdf](http://www.unizar.es/med_naturista/Alimentacion%20y%20Salud.pdf)
- Palma García, J.M. 2015. *Revista Virtual Engormix*, Consultado 16-10-2015 en [https://www.google.com.mx/search?q=Melaza+usos&oq=Melaza+usos+&aqs=chrome..69i57j015.10035j0j7&sourceid=chrome&es\\_sm=93&ie=UTF-8#q=melaza+uso+en+la+agroindustria](https://www.google.com.mx/search?q=Melaza+usos&oq=Melaza+usos+&aqs=chrome..69i57j015.10035j0j7&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=melaza+uso+en+la+agroindustria)
- Pantaleón, (Corporación Pantaleón). 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en [www.pantaleon.com](http://www.pantaleon.com)
- Partearroyo, T., Sánchez, C. E. y Varela, M. G. 2013. El azúcar en los distintos ciclos de la vida: desde la infancia hasta la vejez. *Nutr. Hosp.*, 28(Supl. 4), 40-47. Disponible en [http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112013001000005&script=sci\\_arttext](http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112013001000005&script=sci_arttext)
- PECEGE. 2014. *Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: Fechamento da safra 2013/2014*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia.
- Pennati, C.; De Araujo, J.; Donzelli, J.; De Souza, S.; Forti, J.; Ribeiro, R. 2005. Vinasse: A liquid fertilizer. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol*, 25(1): 403 – 411.
- Pennington, P. 2012. *Desarrollo de Líneas de Investigación en Colaboración con la Industria de Caña de Azúcar*. Departamento de Bioquímica y Microbiología Centro de Estudios en Biotecnología Universidad del Valle de Guatemala. Presentación en Power Point.
- Pérez G-R, S.E., Vega G., L.A. y Romero, J.G. 2007. Prácticas alimentarias de mujeres rurales: ¿una nueva percepción del cuerpo? *Salud Pública Méx*, 49(1), 52-62. En <http://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v49n1/a08v49n1.pdf>
- Pérez, O. 2003. Uso y manejo agronómico de cachaza en Guatemala. En: *Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala*, ATAGUA, Edición Septiembre.
- Pérez, O.; Hernández, F.; Acan, J.; López A.; Ralda G. 2011. Potencial de la vinaza en la reducción de las dosis de nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar y su efecto en la acumulación de potasio y otros nutrientes en el perfil del suelo. En: *Memoria de Presentación de Resultados de Investigación Zafra 2010-2011*. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 191-199.
- Perspectiva de Energía Renovable 2012-2026. 2012. Cosultado 17-10-15 en [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)

- Philippi, S.T. 2014a. *Pirâmide dos alimentos: fundamentos básicos da nutrição*. 2da. ed. Barueri/Sp: Manole.
- Phillips, N., Sakamoto, L. 2012. Global Production Networks, Chronic Poverty and 'Slave Labour' in Brazil. *Studies in Comparative International Development*, 47(3), 287-315. doi: 10.1007/s12116-012-9101-z
- Pijoan, M. 2006. Los dulces de un mundo sin azúcar. *Etnobotánica*, 25(5), 102-110. Disponible en <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-los-dulces-un-mundo-sin-13088621>
- Pimentel D. y Tad P. 2007 Ethanol Production: Energy and Economic Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane, *Natural Resources Research*, 16(3), 235-242.
- Pimentel, D. 2012. Biofuels, Foods, Livestock, and the Environment. In: Pimentel D (ed.) *Global Economic and Environmental Aspects of Biofuels*. CRC Press. Boca Raton, United States.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2009. *Competitividad y organizaciones gremiales privadas: un mundo en transición*. –Guatemala (pp.18-33). Documento en línea: [https://issuu.com/indh\\_guatemala/docs/cuaderno\\_20072008-51](https://issuu.com/indh_guatemala/docs/cuaderno_20072008-51) consultado el 08/06/2016.
- Polyák, E., Gombos, K., Hajnal, B., Bonyár, K., Szabó, S., Gubicskó, A., Marton, K., y Ember, I. 2010. Effects of Artificial Sweeteners on Body Weight, Food and Drink Intake. *Acta Physiol Hung*, 97(4), 401-407. doi: 10.1556/APhysiol.97.2010.4.9.
- Presidencia de la República. 2014. *Reglamento de control sanitario de productos y servicios*. México, D.F. Diario Oficial de la Federación.
- Proexport Colombia. 2009. *Nuevas oportunidades para la Stevia*. [www.proexport.com.co](http://www.proexport.com.co)
- Quast, D.G. 1986. Tipos de açúcar produzidos no Brasil. *Aliment Tecnol*, 10: 49-52.
- Quiles, I. 2013. Patrón de consumo e ingestas recomendadas de azúcar. *Revista Nutrición Hospitalaria*, 28(4), 32-39.
- Ragauskas, A.J., Willians, C.K., Davison, B.H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C.A., Frederick, Jr. W.J., Hallett, J.P., Leak, D.J., Liotta, C.L., Mielenz, J.R., Murphy, R., Templer, R., Tschaplinski, T. 2006. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. *Science*, 311(5760), 484-489. doi: 10.1126/science.1114736
- Raízen. 2014. *Raízen inicia operação de sua primeira unidade de etanol de segunda geração*. Disponible en: <http://pt.raizen.com.br/raizen-inicia-operacao-de-sua-primeira-unidade-de-etanol-de-segunda-geracao>
- Ramos A. A. 2009. *Proceso de elaboración de azúcar y etanol de la caña*. 2da. ed. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Ravelo, S., y Ramos, E. 2009. La trehalosa. Parte II: Su formación en diferentes variedades de caña. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar [ICIDCA]*, 43(3), 28-32. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120660005>
- Remolins, E. 2006. *Alimentos, tecnología y desarrollo*. Opinión Sur. Publicación Virtual. Consultado 16-10-2015 en [http://www.surnorte.org.ar/opinion-sur/nota.php?id\\_nota=175](http://www.surnorte.org.ar/opinion-sur/nota.php?id_nota=175)
- Rendón M., R. 2013. El mapeo de redes de innovación. En: *Oferta disponible para implementar tecnologías MasAgro*, CIMMYT. México.
- Rendón M., R. y J. Díaz J. 2013. Principios e indicadores del análisis de redes de innovación en el medio rural. In: Rendón M., R. y J. Aguilar Á. (coords.) *Gestión de Redes de Innovación en zonas rurales marginadas*. (pp. 121-138). México; Editorial Porrúa.
- Rendón M., R; Aguilar Ávila, Jorge; Altamirano Cárdenas, J. Reyes; Muñoz Rodríguez, Manrubio. 2009. *Etapas del mapeo de redes territoriales de innovación*. Primera edición, UACH/CIESTAAM-SAGARPA-INCA-RURAL-CP. México.
- Renewable Energy Magazine (REM). 2011. Consultado 17-10-15 en [www.energias-renovables.com/energias/renovables/index/pag/biocarburantes/colleft/colright/biocarburantes/tip/articulo/pagid/16489/botid/103](http://www.energias-renovables.com/energias/renovables/index/pag/biocarburantes/colleft/colright/biocarburantes/tip/articulo/pagid/16489/botid/103)
- Renewable Fuels Association (RFA). 2009. Consultado 17-10-15 en [www.ethanolrfa.org](http://www.ethanolrfa.org)

- Repetto, M., y Camean, A. 2006. *Toxicología alimentaria*. 2da ed. España: Díaz de Santos.
- Reyes, M. J., Pérez, B. R., y Betancour, M. J. 2015. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental, *Revista científica trimestral de cubasolar*, 51(1), 75-84. Consultado 15-10-2015 en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML>
- Rhodia. 2008. *Rota alcoolquímica é um dos caminhos de crescimento da Rhodia*. Disponible en: [http://www.rhodia.com.br/pt/news\\_center/news\\_releases/alcohol\\_chemical\\_route\\_171108.tcm](http://www.rhodia.com.br/pt/news_center/news_releases/alcohol_chemical_route_171108.tcm)
- RIDESA. 2015. *Censo Varietal Brasil 2014*. Disponible en: <http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/variedades>. Acesso em: abril de 2016.
- Roberts, A., Renwick, A. G., Sims, J., Snodin, D. J. 2000. Sucralose Metabolism and Pharmacokinetics In Man. *Food and Chemical Toxicology*, 38(Suppl. 2), 31-41. doi:10.1016/S0278-6915(00)00026-0
- Rocha, M.H., Capaz, R.S., Lora, E.E.S., Nogueira, L.A.H., Leme, M.M.V., Renó, M.L.G., Olmo, O.A. 2014. Life Cycle Assessment (LCA) For Biofuels in Brazilian Conditions: A Meta-Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37: 435-459. doi:10.1016/j.rser.2014.05.036
- Roddy, D.J. 2013. Biomass In a Petrochemical World. *Interface Focus* 3: 20120038. <http://dx.doi.org/10.1098/rsfs.2012.0038>
- Rodrigo, M y Alharilla 2006. Los amargos beneficios del dulce. azúcar, cuba y deuda ecológica. *Anuario de Estudios Americanos*, 63(1), 211-232.
- Rodríguez-Burelo, M.R., Ávalos-García, M.I. y López-Ramón, C. 2014. Consumo de bebidas de alto contenido calórico en México: un reto para la salud pública. *Salud en Tabasco*, 20(1), 28-33.
- Rosseto, R.; Dias, F.L.F.; Vitti, A.C. 2008. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: Dianrdo-Miranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M.V.; Landell, M.G.A. *Canha-de-açúcar*.
- Rottigni V-A, O.M. y Quiñones M., D.M. 2008. *Estrategia de penetración para el mercado salvadoreño de galletas sin azúcar, caso práctico: Wolsch S.A. de C.V.* Tesis de licenciatura. Universidad Dr. José Matías Delgado. Antiguo Cuscatlán, San Salvador, El Salvador.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2007. *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar*. <http://siazucar.siap.gob.mx/materiales/pdf/Pronac.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2008. *Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico, 2009-2012*, Gobierno Federal, México.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. *Proyecto Nacional de Alta Rentabilidad para el Reordenamiento y Transformación del Campo Cañero Mexicano*. <http://www.zafranet.com/---files/PDF/PRONARHomologada.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. *Importancia de la agroindustria de la caña de azúcar*. Consultado 18-09-2015 en <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Ca%20C3%B1a.pdf>
- Sain, O. L; Berman, J. M. 1984. *Efectos adversos de edulcorantes en pediatría sacarina y ciclamato*, Biblioteca virtual em Saúde, <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=22413&indexSearch=ID>
- Salgado, G. S., Núñez, E. R., y Bucio, A. L. 2003. Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 267-272.
- Salmerón, J. 2008. Azúcar y edulcorantes. En *Bases de la alimentación humana*. V. Rodríguez, & E. Simón (Eds.), (pp. 131-144). España: Netbiblo, S.L.
- Sánchez, G.M. 2014. *Edulcorantes: Utilización y aprovechamiento en diferentes procesos de la industria alimentaria*. Tesina. Tesina. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. En <http://ri.uaemex.mx/bitstream/123456789/14818/1/Tesis.417169.pdf>

- Sanford, K., Chotani, G., Danielson, N., Zahn, J.A. 2016. Scaling Up of Renewable Chemicals. *Current Opinion in Biotechnology* 38: 112-122. doi: 10.1016/j.copbio.2016.01.008
- Santana Q., T. 2014. *Innovación y competitividad en la industria azucarera de México*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- Santillán-Fernández, A., Santoyo-Cortés, V.H., García-Chávez, L.R., Covarrubias-Gutiérrez, I. 2014. Dinámica de la producción cañera en México: período 2000 a 2011. *AP AGROproductividad*, 7(6), 23-29.
- Santos, J., Carvalho, W., Silva, S.S., and Convertí, A. 2003. Xylitol Production From Sugarcane Bagasse Hydrolyzate Influidized Bed Reactor. Effect of air flow rate. *Biotechnol. Prog.*, 19: 1210-1215.
- Schmelzer, G., and Gurib-Fakim, A. 2008. PROTA 11, Medicinal plants 1 (1a ed.). Wageningen, Netherlands. CTA PROTA. Consultado 23-09-2015 de <http://publications.cta.int/en/publications/series/prota-en/>
- Seabra, J.E.A., Macedo, I.C., Chum, H.L., Faroni, C.E., Sarto, C.A. 2011. Life Cycle Assessment of Brazilian Sugarcane Products: GHG Emissions and Energy Use. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 5: 519-532. doi: 10.1002/bbb.289
- Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Jalisco, SEDER. 2009. Gobierno del estado de Jalisco. *Modelo financiero: planta de etanol Tomatlán Jalisco*. SEDER, Jalisco, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- SENER (Secretaría de Energía), GTZ, BID. 2007. *Potenciales y viabilidad de uso de bioetanol y biodiésel para el transporte en México*, Proyectos ME-T1007-ATN/DO-9375-ME y PN 04.2148.7-001.00. México.
- SENER (Secretaría de Energía). 2008. *Programa de introducción de bioenergéticos*, Gobierno Federal, México.
- Secretaría de Salud. 1996. *Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994*. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- SIAP. 2012. *Infocaña*. Sistema de Información Agrícola y Pesquera. <http://www.cam-pomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes.php?tipo=CIERRE>
- SIAP. 2014. Sistema Nacional de Información de la Agroindustria Azucarera. [http://siazucar.siap.gob.mx/informacion.php?cv\\_cl=2&cv\\_in=5](http://siazucar.siap.gob.mx/informacion.php?cv_cl=2&cv_in=5)
- Silva, G. M. de A.; Pozzi de Castro, O. L. J.; Magro, J. A. 1976. Comportamento agroindustrial da cana-de-açúcar em solo irrigado e não irrigado com vinhaça. In: *Seminário Copersucar da Indústria Açucareira*, 4., Anais Aguas de Lindóia. pp. 107 – 122.
- Smeets, P., de Graaf, C., Stafleu, A., van Osch, M., y van der Grond, J., 2005. Functional Magnetic Resonance Imaging of Human Hypothalamic Responses to Sweet Taste and Calories. *Revista Clin Nutr*, 82: 1011-1016.
- Smil, V. 2010. *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Santa Barbara, United States: Praeger Publishers.
- Soffritti, M., Belpoggi, F., Y Degli, E., 2006. First Experimental Demonstration of the Multipotential Carcinogenic effects of Aspartame Administered In the Feed To Sprague-Dawley Rats. *Environ Health Perspect*, 114: 379-385.
- Solá, A. 2014. *Los edulcorantes (II parte)*. Consultado 28-09-2015 en <http://www.forumdelcafe.com/pdf/Edulcorantes%20II.pdf>
- Souza, M.J.P., Oliveira, P.R., Burnquist, H.L. 2013. Lar “Doce” Lar: uma análise do consumo de açúcar e de produtos relacionados no Brasil. *RESR, Piracicaba-SP*, 51: 785-796. Disponible en. <http://www.scielo.br/pdf/resr/v51n4/a09v51n4.pdf>
- Stads, G.S.; Beintema, N.M. 2009. *Investigación agrícola pública en América Latina y el Caribe. Tendencias de capacidad e inversión*. Informe de síntesis ASTI. (IFPRI-IBD). En formato PDF.
- Stellman, S.D. y Garfinkel, L. 1986. Artificial Sweetener Use and One-Year Weight Change Among Women. *Revista PubMed*, 15(2), 195-202.
- Stolley, P.D. 1993. Datos de morbilidad y mortalidad aplicados al estudio de los efectos indeseables producidos por drogas y medicamentos. En Laporte, J.R. y Tognoni, G. *Principios de epidemiología del medicamento*. 2ª edición, 1993. Ediciones científicas y técnicas, S.A.

- Swingle, W. T. 1941. "Momordica grosvenori sp. nov.: The source of the Chinese Lo Han Kuo". *Journal of the Arnold Arboretum* 22: 197–203. Consultado 28-09-2015 en <http://www.biodiversitylibrary.org/item/33598#page/212/mode/1up>
- Szwarc A. 2011. *A alcoolquímica no cenário futuro da cana-de-açúcar*. Disponible en: <http://www.unica.com.br/colunas/25714988920338419546/a-alcoolquimica-no-cenario-futuro-da/>
- T.C.C. Ripoli y M.L.C. Ripoli. 2009. *Biomassa de cana de açúcar: colheita, energia e ambiente*. 2da. ed. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil.
- Tanger, P., Field, J.L., Jahn, C.E., DeFoort, M.W., Leach, J.E. 2013. Biomass For Thermochemical Conversion: Targets and Challenges. *Frontiers in Plant Science* 4: 218. doi: 10.3389/fpls.2013.00218
- Tao Ling, Andy Aden. 2009. The economics of current and future biofuels, *In Vitro Cell.Dev.Bio.-Plant*, 45: 199-217.
- TECNICAÑA. 2005. *Misión tecnológica a la industria azucarera de Guatemala*. 26 de enero – 5 de febrero de 2005. En Formato PDF.
- Tew, T.L., Cobill, R.M. 2008. Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) As An Energy Crop. In: Vermerris W (ed.), *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Springer Science+Business Media, Dordrecht, Nederland.
- Tilman, D, Balzer, C, Hill, J, Befort, B.L. 2011. Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 20260-20264.
- Toledo, M.C.; Ioshi, S.H. 1995. Potential Intake of Intense Sweeteners in Brazil. *Food Addit Contam*, 12: 799-808.
- Torresani ME, Cardone C, Palermo C, Rodríguez V, Viegner V, Garavano C y col. 1998. Edulcorantes no nutritivos-utilización por la industria y consumo en productos alimenticios. *DIAETA*, 18(86), 34-37.
- Torrijos A., M.B. 2013. *Evaluación del impacto económico de la industria azucarera en el estado de Morelos*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Tosi, F.; Andréé; Gaya, S. Mirna; Barbosa, C. Luis. 2010. The Brazilian Sugarcane Innovation System. *Energy Policy*, 39: 156–166.
- UNC. 2013. Unión Nacional de Cañeros. *Regiones cañeras*. Unión Nacional de Cañeros. <http://www.caneros.org.mx/>
- União da Indústria de Cana-de-Açúcar, (UNICA). 2016. Consultado en mayo 2016. Disponible en: <http://www.unicadata.com.br/>
- UNICA 2015. *União das Indústrias de Cana de Açúcar. Raio X do setor sucroenergético*. Disponible en: <<http://www.unica.com.br/faq>>. Consultado el 08 feb. 2016.
- UNICA 2016a. *União das Indústrias de Cana de Açúcar*. UNICADATA. Disponible en: <<http://www.unicadata.com.br>>. Consultado el 08 feb. 2016.
- Unión de la Industria de la Caña de Azúcar de Brasil, UNICA. 2013. *Brazilian Sugarcane*. <http://unica.com.br>. United States Department of Agriculture USDA, (2006). *The Economic Feasibility of Ethanol Production from Sugar in The United States*, USDA. <http://www.usda.gov>
- Universidad Galileo. 2015. *Mercados Energéticos*. Maestría de Energía Renovable.
- USDA 2015. *Sugar and Sweeteners Yearbook Tables*. <http://www.ers.usda.gov/data-products/sugar-and-sweeteners-yearbook-tables.aspx#25518>
- USDA (United States Department of Agriculture). 2014. *Thailand Sugar Annual Report*. Consultado en mayo 2016.
- USDA, (United States Department of Agriculture). 2015. *Australia Sugar Annual Report*. Consultado en mayo 2016.
- Van der Wel, H., Larson, G., Hladik, A., Hladik, C., Hellekant, G., y Glaser, D. 1989. Isolation and Characterization of Pentadin, The Sweet Principle of Pentadiplandra Brazzeana Baillon. *Chemical Senses*, 14(1), 75-79. doi: 10.1093/chemse/14.1.75
- Vanholme, B, Desmet, T, Ronsse, F, Rabaey, K, Breusegem, FV, Mey, MD, Soetaert, W, Boerjan, W. 2013. Towards a Carbon-Negative Sustainable Bio-Based Economy. *Frontiers in Plant Science* 4:174 . doi: 10.3389/fpls.2013.00174

- Vega-Baudrit, J., Delgado-Montero, K., Sibaja-Ballesteros, M., y Alvarado-Aguilar, P. 2007. Uso alternativo de la melaza de la caña de azúcar residual para la síntesis de espuma rígida de poliuretano (ERP) de uso industrial. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 22(2), 101-107.
- Vennestrom PNR, Osmundsen CM, Christensen cH, Taarning E. 2011. Beyond Petrochemicals: The Renewable Chemicals Industry. *Angew Chemical International Edition*, 50: 10502-10509.
- Vignis. 2014. *Melhoramento Genético*. Disponible en: <http://www.vignis.com.br/melhoramento.html>
- Villalta, W. 2012. *Beneficios de la panela producida orgánicamente frente al azúcar blanca*. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. [Monografía]. Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3346/1/TESIS.pdf>
- Voet, D., Voet, J., y Pratt, C. 2009. *Fundamentos de bioquímica*. 2da. ed. Argentina: Medica Panamericana S.A.
- Wallace E., Tyner. 2008. The US Ethanol and Biofuel Boom: Its Origins, Current Status, and Future Prospects, *Bioscience*, 58: 646-653.
- Wasserman, S. y Faust, K. 1994. *Social Networks Analysis, Methods and Applications First.*, Cambridge University Press.
- Weihrauch, R., y Diehl, V., 2004. Artificial Sweeteners—Do They Bear a Carcinogenic Risk? *Ann Oncol*, 15: 1460-1465.
- Xavier, C.E.O. 2009. *Sugarcane, Sugar and Ethanol Production Costs In Brazil: 2008/2009 Crop Year*. Piracicaba: University of Sao Paulo, “Luiz de Queiroz”, Sao Paulo, Brasil.
- Yeouruenn, L. 1995. *A New Compendium of Materia Medica. (Pharmaceutical Botany and China Medicinal Plants)*. Beijing, China: Science Press.
- Zachary, T., y Blomgarden, M., 2011. Nonnutritive sweeteners, fructose, and other aspects of diet. *Revista Diabetes Care*, 5(1): 34-46.
- Zanini, R.V.; Araújo, C.L.; Martínez-Mesa, Jeovany. 2011. *Utilização de adoçantes dietéticos entre adultos em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil: um estudo de base populacional*. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 27: 924-934.

Esta obra se terminó de imprimir en el mes de abril de 2017,  
en los talleres de Imagen Digital Edición e Impresión S. de R.L de C.V.  
Cerrada de San Cristóbal, #13 Col. Tulantongo, Texcoco, Estado de México.  
Tiraje: 500 ejemplares

En México, la estructura del mercado de los edulcorantes cambió con la puesta en marcha del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), deteniendo la importación de jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF) y colocando parte de los excedentes de azúcar en el mercado norteamericano. A dicha sustitución de azúcar por JMAF se le sumó el incremento del consumo de edulcorantes de alta intensidad. Además, existe una gran cantidad de productos comerciales comestibles que incorporan en su formulación edulcorantes diferentes del azúcar, aprovechando que las personas buscan consumir menos calorías. Sin embargo, las normas de etiquetado no especifican con claridad el tipo de edulcorante usado ni los posibles riesgos a la salud que implica su consumo. Cabe señalar que la agroindustria cañera en México enfrenta una competencia desleal al estar sometida bajo grandes campañas que buscan reducir el consumo de azúcar, vinculado éste a los problemas de obesidad y dejando de lado los riesgos que conlleva el consumo de edulcorantes de alta intensidad. En este libro se analiza dicha problemática y se proponen alternativas para enfrentar los efectos de la sustitución de azúcar de caña por otros edulcorantes. De no existir una estrategia en ese sentido, es posible que la industria azucarera siga perdiendo mercado nacional, y al contraerse, se afecten miles de empleos por el cierre de ingenios.



Enseñar la explotación de la tierra,  
no la del hombre

ISBN: 978-607-12-0449-3

