

Biorrefinería de la caña de azúcar en México en el siglo XXI

NOÉ AGUILAR RIVERA*

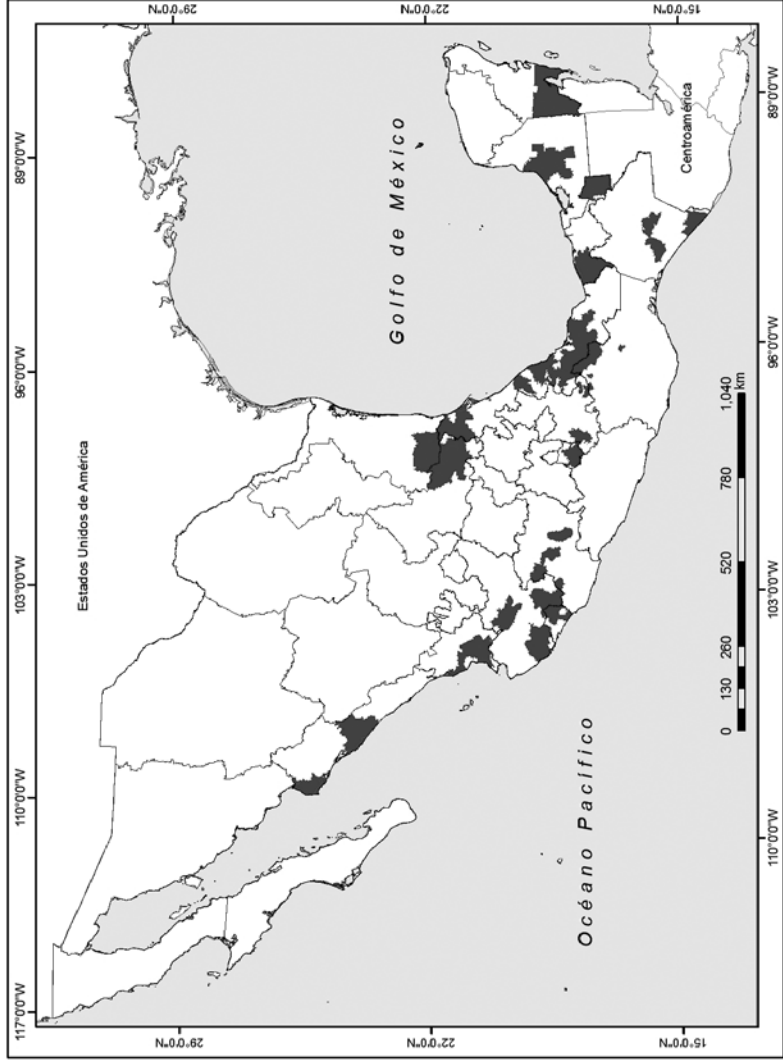
INTRODUCCIÓN

EN MÉXICO, LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA es un sector productivo que presenta una fuerte dinámica, basada en su carácter social, económico y político. Los campos cañeros, los ingenios azucareros, las destilerías y los grupos empresariales y productores se encuentran distribuidos en cinco regiones y 15 estados: región Noroeste (Sinaloa), región Pacífico (Nayarit, Colima, Jalisco y Michoacán), región Centro (Morelos y Puebla), región Noreste (Tamaulipas y San Luis Potosí), región Golfo (Veracruz, Tabasco y Oaxaca) y región Sureste (Campeche, Chiapas y Quintana Roo), donde se produce y se procesa caña de azúcar, aunque su presencia se localiza en más de 240 municipios (Figura 1).

Desde hace varios años, México se ubica entre los primeros diez países productores y consumidores de azúcar en el mundo (alrededor del 3.5% del total producido a nivel mundial, 5.8 millones de toneladas anuales). Así, la agroindustria azucarera debería tener un efecto multiplicador en el empleo y el ingreso de la población y contribuir a la estabilidad social de la población, al arraigo de las personas en sus lugares de origen, promover la creación y mejoras de la infraestructura de apoyo a la producción (caminos, puentes, presas e infraestructura hidráulica, servicios de salud, educación, técnicos y venta de insumos, etc.). Sin embargo, no es una agroindustria que genere desarrollo regional sostenible y divisas por la exportación de azúcar, al no ser un sector superavitario y gran exportador. Al contrario, México es una región deficitaria con producción y produc-

* Dirigir correspondencia a la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Km 1, Carretera Peñuela Amatlán de los Reyes s/n, C. P. 94945, Córdoba, Veracruz, México, tel. (01) (271) 716-73-92, e-mail: naguilar@uv.mx.

FIGURA 1
MUNICIPIOS CAÑEROS



FUENTE: Elaboración del autor, con base en CNIAA, 2013.

tividad a la baja (principalmente en el campo cañero, en tonelada de caña por hectárea y azúcar por hectárea). La calidad de la caña y la eficiencia en la extracción y recuperación de sacarosa en los ingenios, con importación creciente de azúcar de tipo refinado y blanco y alta tasa de adopción de jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF) y otros edulcorantes, han afrontado cíclicas crisis económicas, originadas por un desajuste entre la capacidad de abastecimiento del campo cañero, la producción de azúcar y derivados y el consumo nacional. El diferencial entre ambas variables ha tenido fuertes efectos desestabilizadores, debido a que toda la rama azucarera se desarrolló orientada hacia el mercado interno. Sin embargo, la creación de empresas, a partir de los subproductos del proceso del azúcar, como la “biorrefinería de la caña de azúcar”,¹ ha sido discutida ampliamente por los actores de la agroindustria, académicos e investigadores, como una alternativa y una estrategia lógica y económicamente ventajosa de desarrollo para incrementar la competitividad y la sostenibilidad.

Sin embargo, a pesar de sus múltiples ventajas, las regiones cañeras en la transición del trapiche al ingenio azucarero diversificado (IAD) o biorrefinería continúan en la inercia productiva de caña y azúcar, con diversos temas pendientes por resolver en las áreas legales, institucionales y de investigación como: la productividad del campo cañero; el costo de la materia prima a emplear; la autosuficiencia energética, a partir del bagazo de la caña, cero petróleo; la economía de escala (mayor tamaño de las destilerías); la incorporación de la “cogeneración”, con entrega de electricidad a la red pública por el ingenio; la introducción de la biotecnología para mejorar los procesos de fermentación; los subsidios a la agricultura (producción de caña destinada para etanol y/o exportación de azúcar al mercado mundial). Todos los cuales

¹ Las biorrefinerías son instalaciones de transformación de biomasa en una variedad de productos de valor agregado, incluyendo combustibles, energía, químicos y productos finales; éstas se conciben como la base tecnológica de una nueva industria basada en la biomasa. Por lo tanto, el concepto de biorrefinería es aquel análogo al de las refinerías de petróleo que desarrollan múltiples productos. La biorrefinería de la caña de azúcar obliga a la integración de la destilería con la producción de azúcar y la de caña de azúcar como única materia prima, lo que posibilita no sólo el empleo de las mieles finales, sino también de los jugos, mieles intermedias y el uso del bagazo y residuos de cosecha como energéticos evitando la quema y requema de cañaverales y el necesario manejo agroecológico de la caña de azúcar. SACRAMENTO RIVERO *et al.*, 2010.

limitan las oportunidades que para la agroindustria azucarera representaría la transición a la biorrefinería de la caña de azúcar y la participación en negocios ambientales (Figura 2).

Sin embargo, la diversificación y el establecimiento de biorrefinerías de la agroindustria azucarera es una tarea compleja y se ve limitada por la productividad del cultivo, derivada a su vez de condiciones biofísicas y socioeconómicas, y por múltiples actores con diferentes objetivos, estrategias y percepciones.² Es decir, el sector de la caña de azúcar en México ha perdido productividad y se enfrenta a la baja rentabilidad y al impacto ambiental. La problemática mayor de la agroindustria azucarera estriba en la inestable recuperación agrícola, debida a causas multifactoriales como resocas, plagas y enfermedades, sequías, tamaño minifundista de la unidad productiva, etc. Se refleja en el incremento de la superficie necesaria para producir una tonelada de caña de azúcar (rendimiento de campo), que no impacta consistentemente en un balance estable local entre “oferta” y “demanda”. Puede generar el estancamiento económico, insuficiencia o aun sobreoferta de caña de azúcar de este sector agroindustrial primario que, como actividad económica estructurante, no puede ser desechado o sustituido por otro, por su multifuncionalidad (alimentos, energéticos, fibras, función medio ambiental y rural, entre otros). Hace necesario entonces generar múltiples escenarios con el fin de crear alternativas y facilitar procesos de decisión y ejecución, para revertir o minimizar la productividad marginal o excedente (caña de azúcar, subproductos, etanol, azúcares, energía) (figuras 3 y 4).

En este sentido, la productividad del cultivo de caña de azúcar requiere nuevos abordajes prácticos que permitan *a priori*, de forma confiable y útil, la toma de decisiones *in situ* sobre las regiones cañeras, políticas públicas federales en la planeación y gestión de actividades productivas y la supervivencia de la actividad productiva y su transición a la biorrefinería. Sin embargo, pocos estudios a nivel regional se han focalizado —a través de la integración de indicadores productivos, socioeconómicos, históricos y ambientales— a determinar qué zonas de abasto cañero tienen la potencialidad, en función de su aptitud edafoclimática y los recursos y capacidades de las unidades productivas, de expandir la productividad regional —sin el

² AGUILAR RIVERA, 2012.

FIGURA 2
BIORREFINERÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

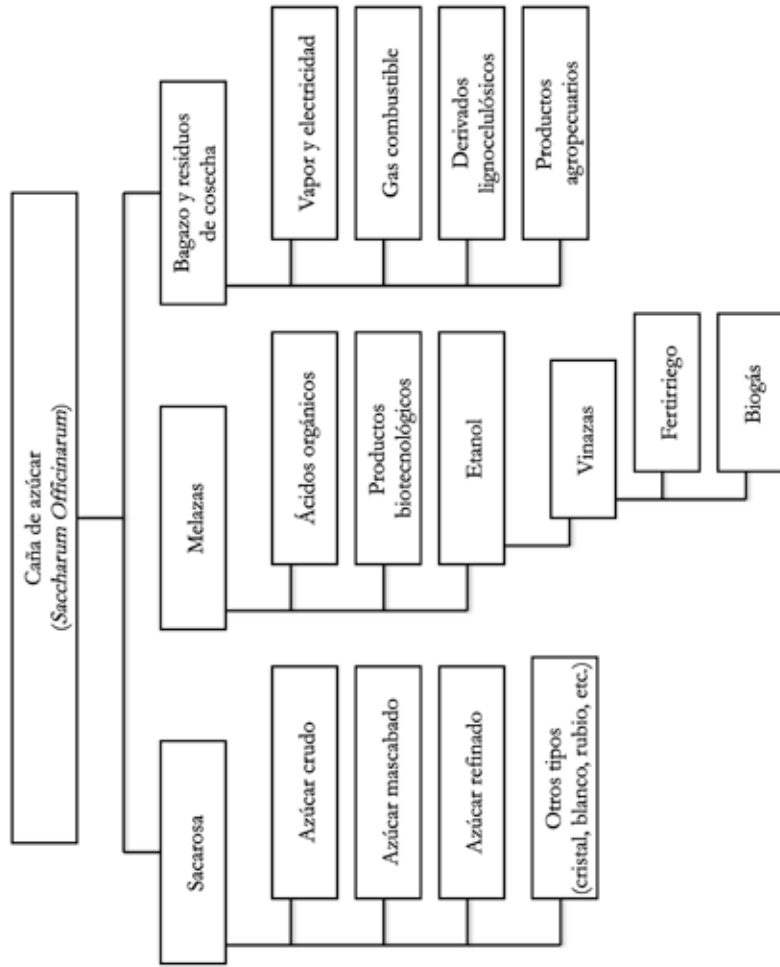
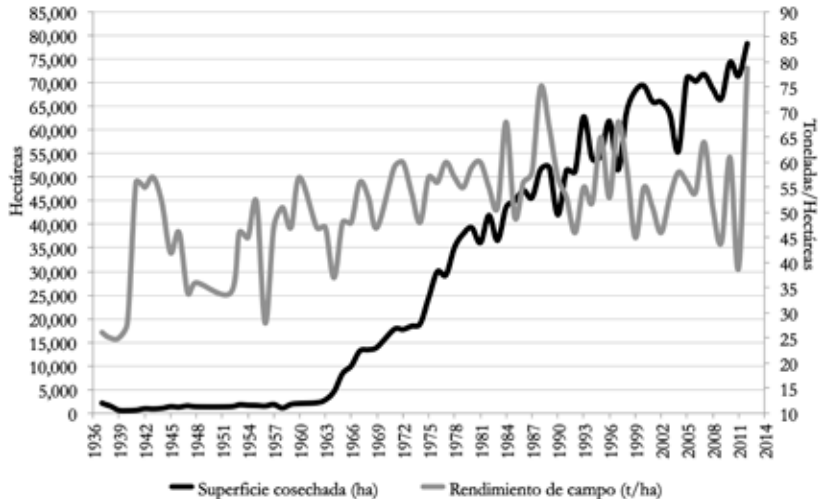
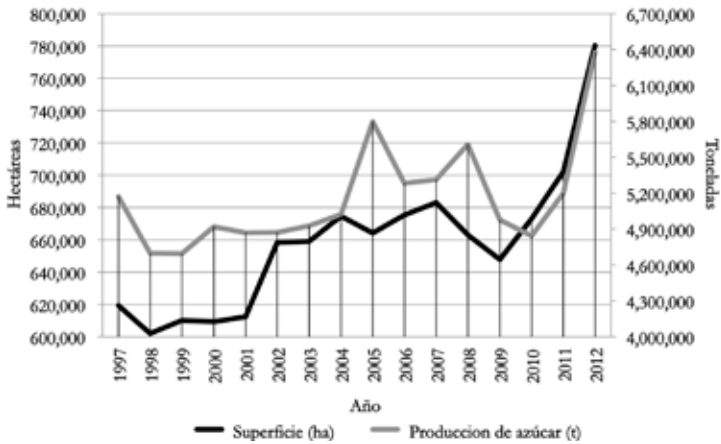


FIGURA 3
PRODUCTIVIDAD DEL CAMPO CAÑERO 1937 A 2012



FUENTE: ITAM, 2013.

FIGURA 4
PRODUCTIVIDAD DE SACAROSA EN MÉXICO, ZAFRAS 1998 A 2012



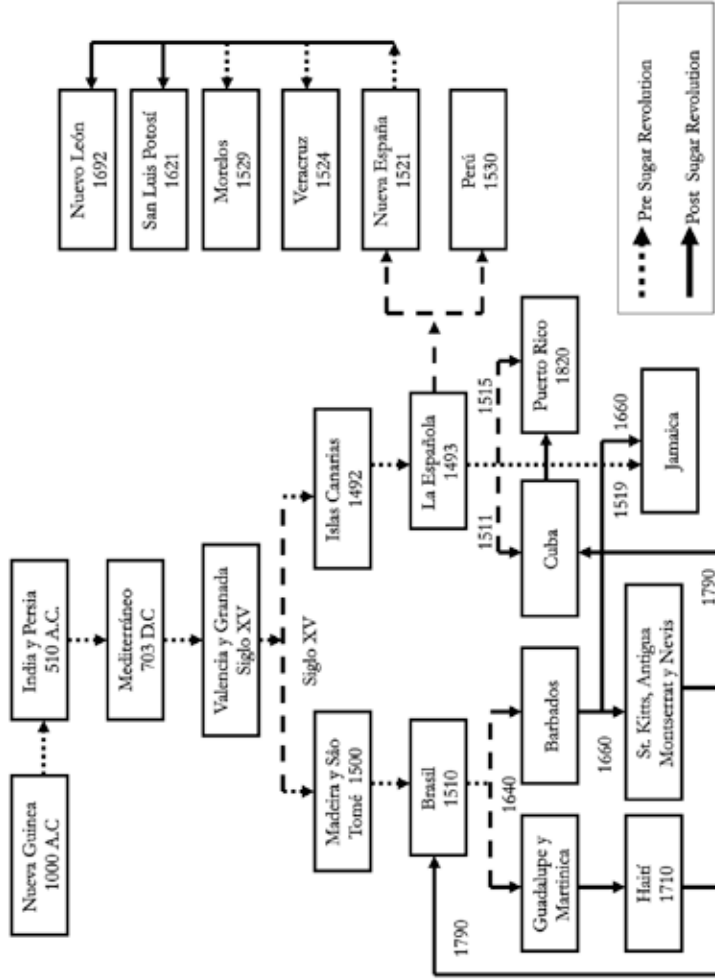
FUENTE: CNPR, 2013.

incremento de la frontera agrícola— para la producción de azúcar, etanol y otros derivados. Es decir, para el éxito de la biorrefinería, es necesario tomar como punto de partida el sector primario de la producción, o sea, el campo cañero, donde la problemática del sector rural en la agroindustria de la caña de azúcar presenta de forma genérica los siguientes rasgos: bajos ingresos y rendimientos por unidad de producción, fertilización deficiente, agricultores cañeros de predios pequeños (tres hectáreas por productor), resistencia al cambio tecnológico (consecuencia de sus valores culturales y creencias, relaciones sociales, falta de aplicación de reglamentos y normatividad fitosanitarios) y formas de organización que determinan la presencia del círculo vicioso de bajos rendimientos —bajos ingresos (pobreza), marginación social, económica, ambiental y política—. La biorrefinería, como una estrategia de competitividad, debería permitir dirigir la agroindustria azucarera existente hacia una planeación económica estratégica, expandiendo la productividad actual, y/o aprovechar las nuevas oportunidades potenciales de negocio basadas en ella, esto, siempre y cuando la superficie sembrada con caña de azúcar no desplace la tierra destinada para otros productos alimentarios y el precio de la materia prima cañera no se eleve por encima de la demanda, lo que traería serias consecuencias para el precio del azúcar.

DESARROLLO HISTÓRICO DE BIORREFINERÍAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN MÉXICO

A finales de 1493, cuando Colón llegó por segunda vez a América, entre una gran variedad de animales y vegetales, introdujo lo que ha sido denominado como el “más grande regalo del Viejo al Nuevo Mundo: “la caña de azúcar”, caña dulce (*Saccharum officinarum*) o cañamiel (del latín medieval *Canna mellis* o *Cannamella*). Sin embargo, durante los primeros veinte años de asentamiento en La Española, el cultivo de caña de azúcar no se desarrolló, pues los primeros colonizadores prefirieron la extracción de oro como principal actividad económica. La preferencia por el oro, junto con el descenso acelerado de la población indígena, impidió el temprano desarrollo de una industria azucarera incipiente. Ante la escasez de oro, evidente desde mediados de la década de 1510, gran parte de los habitantes de La Española optaron por emigrar, en busca de metales

FIGURA 5
CRONOLOGÍA DEL AZÚCAR



FUENTE: ABELLO VIVES, 2006; MINTZ, 1996; CRESPO, 1988.

preciosos que garantizaran su enriquecimiento personal, hacia los nuevos territorios conquistados, especialmente Nueva España, amenazando así la viabilidad de la colonia establecida en La Española³ (Figura 5).

Los modelos de producción azucarera —representados por la hacienda y la plantación en diversos momentos históricos—, relacionados con los factores de producción (tierra, trabajo y capital), condicionaron que los derivados obtenidos de la caña —azúcar, piloncillo, aguardiente, melazas— y el impacto ambiental de los subproductos del procesamiento (bagazo, residuos de cosecha, cachazas y vinazas) hayan modelado gran parte de los paisajes sociales en México, las estructuras sociales, la organización del territorio, la dinámica demográfica, las características del mercado de trabajo, etc. Pero también han incidido en la cultura, dejando marcas indelebles desde la literatura a la arquitectura, desde las ciencias sociales a las expresiones artísticas, los hábitos alimenticios y las prácticas culinarias.

Sin embargo, en opinión de Mintz⁴ y Singelmann,⁵ es a partir del siglo XIX, en plena revolución industrial y capitalismo, que se comenzó a emplear el término de agroindustria azucarera. Término que suele implicar la sustitución generalizada de la mano de obra humana por la maquinaria, la producción masiva en grandes propiedades, el uso intensivo de métodos y productos científicos (fertilizantes, herbicidas, variedades híbridas, irrigación).

TECNOLOGÍA AZUCARERA, DIVERSIFICACIÓN Y BIORREFINERÍAS

Las unidades de producción de derivados de la caña de azúcar o biorrefinerías resumen una larga tradición tecnológica. Para el momento de la introducción de la caña de azúcar en México, la producción de derivados de dicha planta requería de un conjunto de destrezas técnicas que reunía conocimientos de diversa raíz geográfica e histórica. En el trabajo de los primeros trapiches e ingenios que se organizaron a partir de mediados del siglo XVI, se encuentran cimentadas formas técnicas de origen medieval, así como tra-

³ VIÑA BRITO, 2006; MINTZ, 1996.

⁴ MINTZ, 1996.

⁵ SINGELMANN, 1979.

diciones tecnológicas provenientes del mundo islámico. Los conocimientos de la botánica de la planta, los sistemas de riego para su cultivo, las técnicas hidráulicas aplicadas al movimiento de las maquinarias para la molienda, el control de la energía calórica necesaria en los procesos de cocción del jugo de la caña (guarapo) y las técnicas de purgado del azúcar, forman un compendio tecnológico poco común en la siembra de otros cultivos traídos por los europeos al Nuevo Mundo y en el trabajo fabril necesario para su transformación en bienes para el mercado de consumo.⁶

La evolución de la tecnología azucarera y el uso de subproductos son una cuestión compleja por el extenso periodo que comprende y los diversos aspectos involucrados en su condición de agroindustria. El primer punto a considerar es el hecho de que la actividad azucarera fue producto de la Conquista, lo que significa que se constituyó sobre la base de la introducción de un saber tecnológico ajeno a la realidad prehispánica. Este proceso tuvo como objetivo final lograr recuperar la sacarosa que originalmente se encuentra en la planta, separándola de todos sus otros componentes. Pueden caracterizarse en los seis grandes pasos que lo vertebran secuencialmente:

1. Prensado de la caña para obtener sus líquidos, que incluyen la sacarosa y el bagazo como energético para la combustión.
2. Limpieza de este jugo inicial y eliminación de espumas o cachazas.
3. Evaporación del agua que contiene.
4. Cocción de la meladura resultante y cristalización de la sacarosa.
5. Separación de los cristales de azúcar de las mieles incristalizables.
6. Utilización de las mieles para la obtención de aguardiente.

Efectuada la molienda de la caña, en ambos sistemas productivos (trapi-che panelero e ingenio azucarero), el bagazo era secado para ser utilizado como combustible en las hornallas y calderas, al menos hasta el siglo XIX, cuando comenzó a dársele este uso en forma intensiva, al sustituir a la leña que al inicio desempeñó un papel importante como combustible para

⁶ MOLINA, 2005; VIÑA BRITO, 2006.

los ingenios. Luego, el bagazo pasó a ser sustituido por el carbón y el petróleo en el caso de los ingenios azucareros.

Los subproductos resultantes del proceso (bagacillo, cenizas y tlazol) eran empleados en el campo; si se abrían terrenos vírgenes al cultivo, se procedía a eliminar la selva arbustiva o la maleza. En terrenos ya cultivados, la plantación se iniciaba con la quema de rastrojos sobrantes del ciclo anterior (tlazol u hojas secas, punta y cogollo), que no habían sido empleados como forraje. Las cenizas resultantes se esparcían a manera de abono o bien el pachaquil o bagacillo menudo del trapiche y la ceniza proveniente de la quema de bagazo en la hornalla mezclado con estiércol completaban el abono del terreno. Las socas y resocas eran empleadas por regla general a la alimentación de ganado.

Este sistema de diversificación de los derivados de la caña de azúcar continuó hasta inicios el siglo XX, cuando el nuevo ingenio mecanizado y la revolución industrial en el azúcar sustituyó la tecnología simple de los primitivos trapiches por plantas industriales de alta complejidad, los ingenios modernos o “centrales” y “usinas”. La revolución tecnológica, asociada con la reorganización de las relaciones entre la industria y el agro, concentración de fábricas, de tierras y de capitales, innovaciones organizacionales y revolución gerencial, implicó toda una serie de transformaciones económicas y sociales. La modernización en el azúcar fue mucho más que la introducción de las máquinas de vapor o los tachos al vacío de múltiple efecto; condujo al desarrollo de la producción en masa mediante una secuencia de cambios en gran escala.

Altagracia Rivera de Castillo apunta que los subproductos de la agroindustria azucarera, —paradigma de la diversificación de la agroindustria— y las biorrefinerías, comenzaron a tener importancia en los países productores de azúcar en el siglo XX, principalmente en 1970, al elevarse el precio internacional del petróleo.⁷ Anteriormente, los usos más generalizados que se daban a estos subproductos (residuos de cosecha y melazas) eran exclusivamente la fabricación de alcohol aguardiente y como alimentación para el ganado. Por su parte, Luis Gálvez afirma que, a pesar de que la agroindustria azucarera de caña ha tenido una amplia expansión en la

⁷ RIVERA DEL CASTILLO, 1980.

mayor parte de los continentes y de que su producción ha ido en ascenso constantemente desde finales del siglo XIX, el desarrollo de los derivados comenzó durante la siguiente centuria, haciendo de los residuos de la fabricación de azúcar una fuente de materias primas competitivas para las industrias de pulpa y papel, las fermentaciones, los tableros,⁸ el estudio de las reacciones químicas y las propiedades de la sacarosa como materia prima (sucroquímica).⁹ Los primeros usos de los subproductos fueron la utilización del bagazo como combustible, los tableros, el uso directo de las mieles en la alimentación animal y la fermentación de éstas para la producción de alcohol o aditivos de alimentos.

Es decir, en las primeras etapas de la diversificación o biorrefinerías de la caña de azúcar, las materias primas utilizadas eran los residuos industriales y los de la cosecha. Luego fueron los productos intermedios del proceso azucarero, y en la segunda etapa (segunda mitad del siglo XX), el propio azúcar generó opciones productivas de alto valor favorecido por el carácter renovable de las materias primas y las crecientes demandas de productos de origen natural. El concepto de diversificación en la industria azucarera o biorrefinerías ha ido evolucionando, desde producciones con tecnologías simples, hasta las más recientes, basadas en la química sintética, la biotecnología y en los procesos de obtención de nuevos materiales. El contexto en que se desarrolló la actividad azucarera a nivel internacional durante el siglo XX y el XXI se caracterizó principalmente por la amplia utilización de una gran variedad de medidas concretas de política económica, con un alto contenido proteccionista, relacionadas con los precios internacionales de edulcorantes y de los energéticos.¹⁰

BIORREFINERÍAS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN MÉXICO

En México son numerosos los factores que pueden evaluarse para establecer que han restringido y/o fomentado la diversificación y establecimiento

⁸ Tableros aglomerados para la fabricación de muebles, puertas y como material de construcción.

⁹ GÁLVEZ, 1990.

¹⁰ AGUILAR RIVERA, 2012.

de biorrefinerías de la agroindustria azucarera (precios del azúcar y petróleo, tecnología, legislación, calidad y cantidad de materias primas, costos de producción, impacto ambiental, etc.) y que se han traslapado cíclicamente a través de la historia del edulcorante. Por otra parte, John Gibler plantea que la diversificación, reconversión o establecimiento de biorrefinerías de la agroindustria azucarera mexicana han estado limitadas por otros factores restrictivos: cultura laboral improductiva, contrato-ley cañero complejo, sistema de capacitación por competencias inoperante, altos costos de producción, inseguridad jurídica, financiamiento inadecuado e insuficiencia en tecnología e investigación agrícola, entre otros.¹¹ Esto se deriva del hecho de que la agroindustria azucarera mexicana se organizó desde el siglo XVI sobre la base de un modelo integrado “verticalmente”: la hacienda agrupaba a las áreas agrícolas productoras de los insumos básicos para la fabricación de azúcar (agua, ganado, leña, caña de azúcar), de los derivados de la caña (aguardiente, panocha, piloncillo y mieles) y las instalaciones fabriles (ingenios o trapiches), las cuales absorbían la totalidad de la producción cañera generada por una gran cantidad de pequeños y medianos productores agrícolas; no existían empresas que utilizaran subproductos de la agroindustria azucarera, a excepción del aguardiente.¹²

Para el análisis actual, deben, según Antonio Santamaría, integrarse políticas, regulaciones, cambios o adaptaciones tecnológicos y relaciones entre productores de caña e ingenios. Es decir, lo social de los temas azucareros —el mundo del trabajo, la formación de élites, la organización empresarial y laboral— junto con los cambios tecnológicos y la investigación científica básica y aplicada, son aspectos relevantes con un valor indiscutible y menos sujetos a los análisis tradicionales de campo y fábrica de la agroindustria, que aún presentan serios déficits en su conocimiento.¹³ Con independencia de las épocas —modas e influencias, del debate internacional entre diversos especialistas, la innovación y cambios técnicos y organizativos—, el sector cañero ha estado ligado a las modificaciones de estos procesos y fue el ámbito donde surgió una de las industrias más antiguas del mundo, pionera

¹¹ GIBLER, 2006.

¹² SÁNCHEZ SANTIRÓ, 2006a y 2006b; SÁNCHEZ SANTIRÓ, 2001.

¹³ SANTAMARÍA GARCÍA, 2006.

en la revolución industrial, en la variedad de productos y la administración de la producción.

En un escenario de economías abiertas y globalización, la biorrefinería de la caña de azúcar forma parte de la estrategia de inserción internacional y de desarrollo productivo regional y complementa la creación de ventajas competitivas. La biorrefinería es necesaria cuando sectores o regiones de importancia económica y social, como la caña de azúcar, sufren persistentes e importantes rezagos competitivos. Algunos de estos sectores pueden contar con capacidad para reconvertirse o diversificarse, pero no encuentran en el mercado, ni en las políticas gubernamentales, incentivos suficientes para hacerlo por sí mismos, por lo que el sector público puede complementar los esfuerzos de readecuación competitiva.

Desde una perspectiva más amplia, con el método multicriterio de Jerarquías Analíticas (AHP, por sus siglas en inglés),¹⁴ Aguilar determinó los factores limitantes para la productividad cañera en México, como base material de la biorrefinería¹⁵ (Cuadro 1).

CUADRO 1
FACTORES LIMITANTES DEL CAMPO CAÑERO PARA EL ESTABLECIMIENTO
DE BIORREFINERÍAS

<i>Factor limitante</i>	<i>Incidencia (%)</i>
Aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar	38.1
Rendimiento de campo	25.4
Tamaño de la unidad de producción, superficie cañera	14.4
Ciclo productivo (planta, soca, resoca, resoca N)	9.1
Plagas y enfermedades cañeras (mosca pinta, barrenador, rata, roya, carbón, etc.)	6.1
Tipo de cosecha (verde o quemada)	4.2
Tenencia de la tierra (privada o ejidal)	2.8

¹⁴ El método de las jerarquías analíticas, desarrollado por Saaty en 1977 es una técnica abierta y flexible que consiste en determinar matemáticamente el grado de importancia o peso de los distintos elementos del modelo jerárquico y la modelación de problemas con una alta complejidad y dirigir la toma de decisiones. El método AHP se sustenta sobre los axiomas de juicios recíprocos y homogeneidad de los elementos, es decir, los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud y estructura jerárquica.

¹⁵ AGUILAR RIVERA *et al.*, 2013.

Estos valores establecen que la aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar es el factor más importante, seguido por el rendimiento de campo y el acceso a la tierra o tamaño de la unidad productiva o superficie cañera, ya que juntos explican 77.9% de la capacidad para establecer biorrefinerías. La aptitud, con una incidencia o peso de 38.1%, tiene un impacto importante, ya que determina la capacidad del territorio para producir materia prima, en cantidad y calidad, por ciclo productivo y expandir la frontera agrícola actual. Estos efectos están estrechamente vinculados con la calidad del suelo, las condiciones climáticas y la afectación por plagas bajo régimen de temporal o secano. Por lo tanto, existe un fuerte vínculo entre la aptitud y el tipo de gestión agrícola que determina el desarrollo agrícola en la región para el establecimiento de biorrefinerías en diversas regiones. Es decir, las economías de escala, la adecuación agroecológica de las tierras, el riego, la mecanización (sobre todo la cosecha), los fertilizantes, la gestión de plagas y los procesos gerenciales permitirán a los agricultores cañeros la producción de materia prima con mayores ventajas relativas o, al menos, las menores desventajas derivadas de los factores físicos (climáticos, edafológicos, etc.) y biológicos y las fuerzas económicas que limitan las posibilidades de la sostenibilidad de proyectos de biorrefinerías.

Así, el incentivo más importante para que productores cañeros se interesen en las biorrefinerías es el rendimiento de campo y los ingresos derivados de éste y de las nuevas producciones —como el etanol y la energía eléctrica derivada del bagazo o los residuos de cosecha—, que logren cubrir el contrato con el ingenio azucarero actual y tener excedentes que podrían emplearse en otras producciones regionales, donde el productor tenga experiencia o un mercado, así como la tenencia de tierra y el tamaño de la unidad productiva (como recurso). Entonces, los determinantes de la diversificación de ingresos en las zonas cañeras están basados en que la caña de azúcar pueda verse desde una perspectiva de incentivos y en las capacidades o recursos de los productores para responder a los mismos (educación, acceso a créditos, capacitación, desarrollo humano).

BIORREFINERÍAS EN EL SIGLO XXI

Las experiencias internacionales del establecimiento de biorrefinerías han sido totalmente documentadas.¹⁶ En México, desde la introducción del cultivo en 1521 por los conquistadores españoles, se han tenido experiencias en la hoy llamada biorrefinería. Sin embargo, en el siglo XXI el mercado no se limita al azúcar en todos sus tipos (crudo, refinado, blanco, rubio y aún panela), sino que existen los productos secundarios tradicionales derivados del jugo de la caña como melaza, lodo de filtros (cachazas), vinaza, etanol. Adicionalmente, los productos derivados de la fibra de la caña (insumos para aminoácidos, alimento animal, papel, combustible, detergentes, aceites lubricantes y pinturas) son mercados a los que se les ha dado poca importancia hasta la fecha, a pesar de que existen oportunidades no explotadas en el suministro de biomasa cañera, principalmente.¹⁷ A lo anterior se suma el mercado de los productos energéticos, conformados por la cogeneración de energía eléctrica y vapor de proceso, el etanol, el biodiesel y el biogás. Estas áreas de oportunidad no son explotadas en términos económicos por la agroindustria azucarera nacional, por razones diversas, ya sea por las regulaciones limitativas en torno a la generación de la energía, por la ausencia de una visión estratégica hacia el sector, o por las visiones empresariales poco emprendedoras.¹⁸

El desaprovechamiento de la generación eléctrica y de la producción de biocombustibles, especialmente el etanol, es resultado de la virtualmente inexistente vinculación con la industria petrolera mexicana, automotriz, farmacéutica o química, entre muchas otras. La ausencia de proyectos de investigación y desarrollo, relacionados con la diversificación de los usos de la caña y biorrefinerías, y la falta de vinculación con las universidades, han convertido a la cadena azucarera en un seguidor fiel de la aplicación de tecnologías existentes desarrolladas en el extranjero, principalmente en Cuba y Brasil. Las investigaciones que vinculan el sector con la biotecnología, los nuevos materiales, las comunicaciones, el transporte, la electró-

¹⁶ MONCADA *et al.*, 2013; DIAS *et al.*, 2013; CLARK *et al.*, 2012; CORREA DO LAGO *et al.*, 2012; MOORE, 2011; CHERUBINI, 2010; BRUMBLEY *et al.*, 2007; DOHERTY *et al.*, 2006.

¹⁷ RÍOS y KALTSCHMITT, 2013; BRAMBILA PAZ *et al.*, 2013; AGUILAR RIVERA, 2012.

¹⁸ MERTENS, 2008.

nica, la energía, la mecánica y transmisiones, la nanotecnología, son áreas inexploradas. De la misma manera lo son la vinculación con el desarrollo tecnológico convencional en campo y fábrica.¹⁹

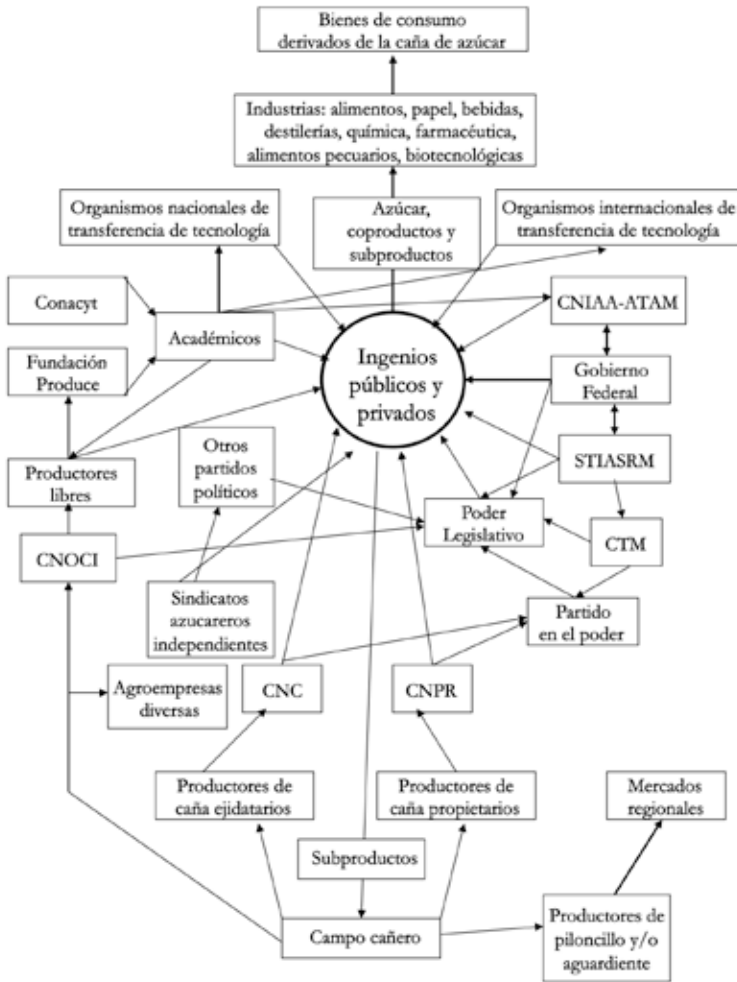
La falta de una política integral hacia el sector es el resultado de varios factores. El primero es el bajo perfil del sector en la política económica del país. Durante muchos años fue considerado un sector problemático que sobrevive por motivos sociales y políticos; un sector que cuesta más de lo que aporta a la economía nacional, de ahí que hubiera una política nacional diferenciada hacia él.

Un segundo factor es la visión en la que predomina una tendencia tradicional productivista, donde prevalece el volumen y el costo de producción del azúcar y algunos derivados (melazas y etanol), sobre una visión ética de desarrollo del conjunto del sector. Ante la necesidad de empleos en el medio rural, la defensa de los intereses de la sociedad civil y del bienestar público se subordina a los intereses de rentabilidad de las empresas (ingenios y destilerías) de la cadena. Esto se refleja abiertamente en la diversidad de actores involucrados en la cadena de la caña de azúcar (académicos, políticos, sindicalistas, productores de materia prima y piloncillo, ingenios, proveedores nacionales y extranjeros de insumos, agencias de financiamiento, etc.), con visiones e intereses que provocan una falta de consenso entre los mismos. Esto se manifiesta en posturas divergentes, al momento de definir estrategias de solución, vía el análisis de las capacidades de diversificación y los factores limitantes, el establecimiento de biorrefinerías a gran escala, etc. (Figura 6).

Asimismo, dado que las metodologías convencionales de abordaje actuales han demostrado tener limitaciones importantes para analizar la problemática desde su definición conceptual, es necesario explicar el desarrollo de biorrefinerías de forma sistémica y con metodologías multidisciplinarias, como un todo complejo, identificable y distinto, y donde los segmentos del sistema agroindustrial están, por tanto, relacionados por variables históricas, tecnológicas, económicas y organizacionales. Estos nuevos paradigmas se han incorporado lentamente con temas vinculados a los intereses, corrientes y controversias sobre el futuro de la agroindustria

¹⁹ AGUILAR RIVERA, 2012.

FIGURA 6
ACTORES DE LA CADENA AGROINDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR
EN MÉXICO



SIGLAS Y ACRÓNIMOS: ATAM: Asociación de Técnicas Azucarera de México; CNC: Confederación Nacional Campesina; CNIAA: Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica; CNOCI: Coordinadora Nacional de Organizaciones Cañeras Independientes; CNPR: Confederación Nacional de Propietarios Rurales; CTM: Confederación de Trabajadores de México; Conacyt: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; STIASRM: Sindicato de Trabajadores de la Industria Azucarera y Similares de la República Mexicana.

azucarera durante casi 500 años, como productora exclusiva de un alimento básico y ahora como biorrefinería productora de alimentos, energía y materias primas. Sin embargo, no se han abandonado los temas y preocupaciones tradicionales que surgen acerca de las prácticas gerenciales de producción de la caña de azúcar, las cuales se enfocan casi exclusivamente a la productividad (rendimientos de campo, agroindustrial y de fábrica), así como a los efectos de múltiples factores de carácter exógeno o endógeno al sistema o su territorialidad.

Finalmente, las críticas y propuestas acerca de la sostenibilidad ambiental y los elementos para alcanzar la competitividad de las biorrefinerías en México (productividad, diversificación, innovaciones, gestión, etc.) aún presentan muchas interrogantes. En particular, han recibido una publicidad sustancial, debido a que la expansión de la producción de azúcar es una extensión de una actividad económica tradicional, dentro de una agroindustria que generalmente no ofrece desarrollo de empresas colaterales ni acciones diversificadas del uso de la caña e innovaciones. Es decir, la explicación y comprensión para el establecimiento de biorrefinerías requeriría de instrumentos teóricos y prácticos que permitan reconocer y analizar las condiciones a partir las cuales puede llevarse a cabo el análisis, el desarrollo y la transformación de las regiones cañeras. Pero siguen adecuándose a un paradigma de evolución lenta y paulatina centrado en el análisis económico tradicional, más que a acciones concretas en continua formación y transformación, para evitar crear mayores distorsiones en la descripción, el análisis y el estudio de los fenómenos de la agroindustria, en su transición a la biorrefinería. El objetivo es de obtener e integrar nuevos conocimientos, características e investigación de sus interrelaciones espaciales y su predicción como modelo temporal-espacial de la realidad.

CONCLUSIONES

La agroindustria azucarera mexicana requiere forzosamente un modelo de desarrollo, no un espejismo de la tendencia a producir sólo lo en que Estados Unidos no es autosuficiente y que México podría exportar, como lo plantean los programas gubernamentales cañeros actuales. Se requieren soluciones reales (estrategias al interior) basadas en nuevos sistemas de administración,

gestión empresarial, economía ecológica y estudios multi y transdisciplinarios, vinculación directa con universidades y la creación de un instituto de investigación de la caña de azúcar, nuevas reformas con la participación de un consejo consultivo científico multidisciplinario que permitan darle rumbo y certidumbre, desarrollar tecnología e innovaciones propias y proyectos regionales que permitan en el corto plazo ser autosuficientes en las áreas de alimentos, energía y combustibles (azúcar, cogeneración y etanol).

Éstos representan los pasos iniciales que debe seguir este sistema agroindustrial para transitar de un modelo histórico estructural a otro, por medio de una transformación en sus paradigmas de competencia, con el fin de adaptarse a las nuevas condiciones ambientales y de mercado basados en el concepto de biorrefinería:

Lotificar zonas cañeras por ambientes productivos, conservando los derechos de propiedad de los ejidatarios y/o propietarios, para disminuir costos derivados de la cosecha y la logística del transporte y poner en marcha la mecanización de acuerdo a la topografía específica de las zonas cañeras. Así, la tierra como factor productivo se convertiría en el principal activo que redundaría en incrementar la productividad.

Poner en práctica una agricultura de precisión para el manejo de la variabilidad por sitio específico, gestión de plagas y enfermedades, logística de cosecha y transporte.

Eliminación paulatina de la quema para el uso de la paja cañera en proyectos de biorrefinería como energético y en proyectos rurales para la minimización de gases de efecto invernadero (GEI), o bien dejándose en el campo para incrementar la materia orgánica del suelo y como acolchado cañero que, a su vez, permitirá evitar la pérdida de humedad y reducir la incidencia de plagas cañeras.

Desarrollar variedades para diversos ambientes agroecológicos, para evitar depender de pocas variedades extranjeras y así reducir la vulnerabilidad y el riesgo a enfermedades, plagas y malezas derivadas del cambio climático.

Establecer programas de diversificación en la unidad productiva, sin disminuir la entrega de caña al ingenio o biorrefinerías para la producción de azúcar, etanol y otros derivados, mediante la reconversión de trapiches rústicos en trapiches tecnificados y el establecimiento de sinergias con los sistemas ganaderos que permitan el empleo del residuo de cosecha de

forma integral o mediante técnicas de ensilaje, predigestión prehidrólisis o enriquecimiento proteico.

Reconvertir ingenios hacia la producción flexible de azúcar y etanol o biorrefinerías flexibles directamente de la caña de azúcar o de la melaza para lograr, en primer lugar, la autosuficiencia nacional y regional.

Creación de *clusters* o concentración agroindustrial y la paulatina desregulación del sector con apoyo inicial institucional.

Llevar a cabo estudios multidisciplinarios que incluyan técnicas de cartografía participativa.

Incorporar a académicos de diversas disciplinas para la creación de una nueva legislación que paulatinamente desregule el sector azucarero hacia un mercado libre de caña de azúcar y sus derivados y biorrefinerías.

BIBLIOGRAFÍA

ABELLO VIVES, Alberto

2006 “Un Caribe por fuera de la ruta de la Plantación”, en Alberto Abello Vives (comp.), *Un Caribe sin plantación. Memorias de la cátedra del Caribe Colombiano*, Primera versión virtual, Observatorio del Caribe Colombiano, Universidad Nacional de Colombia (sede Caribe), San Andrés, Colombia, pp. 11-43 [http://www.academia.edu/485426/Un_Caribe_por_fuera_de_la_ruta_de_la_Plantacion._In_Alberto_Abello_ed._Un_Caribe_sin_Plantacion_San_Andres_Universidad_Nacional_de_Colombia_2006_11-43].

AGUILAR RIVERA, Noé, Daniel RODRÍGUEZ, Adolfo CASTILLO y Agustín HERRERA
2013 “Management of sugarcane crop fields productivity constraints for a biorefinery a multidisciplinary approach”, *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, The International Society of Sugar Cane Technologists, vol. 28, pp. 537-541.

AGUILAR RIVERA, Noé
2012 “Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México”, *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, Universidad Autónoma del Estado de México, mayo-agosto, vol. 19, núm. 59, pp. 187-213.

AGUILAR RIVERA, Noé, Guadalupe MENDOZA GALINDO y Javier FORTANELLI MARTÍNEZ

2012 “A methodological approach to sugar mill diversification and conversion”, *Ingeniería e Investigación*, Universidad Nacional de Colombia, vol. 32, núm. 2, pp. 23-27.

- AVRAM, Pedro
2005 “Benchmarking concept for an integrated sugar, ethanol and co-generation plant”, *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol Congress*, The International Society of Sugar Cane Technologists, Guatemala City, vol. 2, pp. 130-204.
- BRAMBILA PAZ, José, Miguel MARTÍNEZ DAMIÁN, María ROJAS ROJAS, Verónica PÉREZ CERECEDO
2013 “La bioeconomía, las biorrefinerías y las opciones reales: el caso del bioetanol y el azúcar”, *Agrociencia*, Colegio de Postgraduados, núm. 47, núm. 3, pp. 281-292.
- BRUMBLEY, S. M., M. P. PURNELL, L. A. PETRASOVITS, L. K. NIELSEN, P. H. TWINE
2007 “Developing the sugarcane biofactory for high-value biomaterials”, *International Sugar Journal*, Agra-net, vol. 109, núm. 1297, pp. 5-15.
- CNIAA
2013 *Manual Azucarero Mexicano*, 54 ed., 456 pp.
- CHERUBINI, Francesco
2010 “The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals”, *Energy Conversion and Management*, Jordan University of Science and Technology, Elsevier, July, vol. 51, pp. 1412-1421.
- CLARK, James, Rafael LUQUE y Avtar MATHARU
2012 “Green Chemistry, Biofuels, and Biorefinery”, *Annu. Rev. Chem. Biomol.*, Annual Reviews.org, Eng.3, pp. 183-207.
- CNPR
2013 *Estadísticas de la agroindustria*, en: <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.html>.
- CRESPO, Horacio
1988 *Historia del azúcar en México*, Azúcar S. A./Fondo de Cultura Económica, México, 2 vols., 1090 pp.
- CORREA DO LAGO, Andre, Antonio BONOMI, Otavio CAVALETT, Marcelo PEREIRA DA CUNHAB, Marco Aurelio PINHEIRO LIMA
2012 “Sugarcane as a carbon source: The Brazilian case”, *Biomass and bioenergy*, Elsevier, November, vol. 46, pp. 5-12.
- DIAS, Marina, TASSIA JUNQUEIRA, Otavio CAVALETT, Lucas PAVANELLO, Marcelo CUNHA, Charles JESUS, Rubens MACIEL FILHO y Antonio BONOMI
2013 “Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane”, *Applied Energy*, Elsevier, vol. 109, pp. 72-78.
- DOHERTY, W. O. S., J. A. BLINCO y G. E. BULLOCK
2006 “The sugarcane biorefinery: energy crops and processes for the production of liquid fuels and renewable commodity chemicals”,

- International Sugar Journal*, Agra-net, vol. 108, núm. 1285, pp. 19-20.
- GÁLVEZ, Luis
1990 *La industria de los derivados de la caña de azúcar*, ICIDCA/MINAZ/ Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba, 576 pp.
- GIBLER, John
2006 “Agroindustria Azucarera. Pensamiento, Negociación y Plan Estratégico”, *Documento de Trabajo*, México.
- ITAM
2013 *Estadísticas históricas de México*, en: <http://biblioteca.itam.mx/recursos/ehm.html#manufacturera>.
- MERTENS, Leonard
2008 *Hacia el trabajo decente en el sector del azúcar México*, Documento de trabajo núm. 259, Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra, Suiza, 83 pp.
- MINTZ, Sidney
1996 *Dulzura y poder, el lugar del azúcar en la historia moderna*, Siglo XXI editores, México, 299 pp.
- MOLINA, Luis
2005 “Historia y arqueología de un antiguo ingenio azucarero del Valle de Caracas, Venezuela”, *Anales del Museo de América*, Editores Museo de América, núm. 13, pp.199-224.
- MONCADA, Jonathan, Mahmoud EL-HALWAGI y Carlos CARDONA
2013 “Techno-economic analysis for a sugarcane biorefinery: Colombian case”, *Bioresource Technology*, Elsevier, mayo, vol. 135, pp. 533-543.
- MOORE, Paul
2011 “Sugarcane Breeding and Biotechnology to Feed the Emergent Sugarcane Biorefinery Industry”, *Tropical Plant Biol.*, Springer, vol. 4, pp. 1-2.
- RÍOS, Mario y Martin KALTSCHMITT
2013 “Bioenergy potential in Mexico-status and perspectives on a high spatial distribution”, *Biomass Conv. Bioref*, Springer, vol. 3, pp. 239-254.
- RIVERA DE CASTILLO, Altigracia
1980 “Subproductos y derivados de la industria azucarera”, *Ciencia y Sociedad*, Asociación de Tecnólogos Azucareros de República Dominicana, vol. v, núm. 2, pp. 225-241.
- SACRAMENTO RIVERO, J. C., G. ROMERO, E. CORTÉS RODRÍGUEZ, E. PECH, S. BLANCO ROSETE
2010 “Diagnóstico del desarrollo de biorrefinerías en México”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, vol. 9, núm. 3, pp. 261-283.

SÁNCHEZ SANTIRÓ, Ernest

- 2001 *Azúcar y poder*, Editorial Praxis, Cuernavaca, México, 331 pp.
- 2006a “Evolución productiva de la agroindustria azucarera de Morelos durante el siglo XIX”, *América Latina en la Historia Económica (ALHE)*, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, núm. 26, pp. 111-126.
- 2006b “Recuperación y expansión de la agroindustria azucarera mexiquense en un contexto de crisis (1821-1854)”, *Investigaciones de Historia Económica*, Asociación Española de Historia Económica, Otoño, núm. 6, pp. 41-72.

SANTAMARÍA GARCÍA, Antonio

- 2006 “Temas y controversias del debate histórico internacional reciente en torno a la industria azucarera”, *América Latina en la Historia Económica (ALHE)*, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, segunda época, enero-junio, núm. 25, pp. 7-41.

SINGELMANN, Peter

- 1979 “El desarrollo capitalista periférico y la transformación de las relaciones de clase en el campo. Papel de los campesinos cañeros en la industria azucarera mexicana”, *Revista Mexicana de Sociología*, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, vol. 41, núm. 4, pp. 1167-1180.

UNIÓN NACIONAL DE CAÑEROS, A. C./CNPR

- 2013 *Estadísticas azucareras*, en: <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.html>.

VIÑA BRITO, Ana

- 2006 “La organización social del trabajo en los ingenios azucareros canarios (siglos XV-XVI)” [“The Social Organization of Work in Sugar Mills of the Canary Islands (15th-16th centuries)”], *En la España Medieval*, núm. 29, pp. 359-381.

WOBESER, Gisela Von

- 1989 *La formación de la hacienda colonial. El uso de la tierra y el agua*, Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México, 218 pp.