

# Análisis de la productividad de etanol de caña de azúcar en ingenios azucareros de México

Noé Aguilar Rivera\*

Recepción: 25 de febrero de 2012  
Aceptación: 23 de noviembre de 2012

\* Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Córdoba, Veracruz México.  
Correo electrónico: naguilar@uv.mx  
Se agradecen los comentarios de los árbitros de la revista.

**Resumen.** Se desarrolla una metodología de sistemas complejos para evaluar la productividad cañera en municipios con ingenios azucareros para la obtención de etanol mediante el proceso de jerarquías analíticas (AHP). Los resultados establecen que variables: rendimiento de campo (TCH) y agroindustrial (TSH), acceso a crédito y riego explican el 75% de la capacidad para expandir la productividad cañera para la producción de azúcar y etanol con inconsistencia de 0.07. Del total de municipios, sólo 16 (28%) presenta alta y muy alta capacidad, lo que implica la integración del territorio en forma de cluster o distrito agroindustrial, innovaciones y políticas públicas diferenciadas para obtener nuevas producciones con base en la caña de azúcar para incrementar el nivel de competitividad.

**Palabras clave:** ingenio azucarero, zona de abasto, AHP, diversificación productiva, etanol.

## Sugar Cane Ethanol Productivity Analysis in Mexican Sugar Mills

**Abstract.** We developed a complex systems methodology by the analytic hierarchy process (AHP) for evaluating sugarcane productivity in municipalities with sugar mills for ethanol production. The results showed that the variables sugarcane and sucrose yield (TCH and TSH), access to credit and irrigation engineering account for 75% of the capacity to expand sugarcane productivity for production of sugar and ethanol, in the municipalities where the sugar mills are located at inconsistency level 0.07. For the municipalities, only 16 (28%) had high or very high capacity, which involves the integration of the territory as a cluster or agro industrial district, innovations and differentiated public policy for new productions based on sugar cane to increase the level of competitiveness.

**Key words:** sugar mill, supply area, AHP, productive diversification, ethanol.

## Introducción

En México, la agroindustria azucarera tiene una larga tradición histórica, se encuentra espacialmente distribuida 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) y más de 240 municipios productores de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) que aportan la materia prima a 57 ingenios azucareros (figura 1). Esta agroindustria tiene un gran impacto socioeconómico en 12 millones de personas

al generar 400 000 empleos directos, distribuidos en 165 mil productores de caña, 176 mil trabajadores de campo, 28 mil transportistas, 23 mil obreros sindicalizados, 16 mil en labores administrativas, entre otros. El valor de la producción promedio de esta agroindustria en las últimas zafra es: 3 mil millones de dólares que representa el 0.5% del PIB nacional, 2.5% del PIB manufacturero, 11.6% sector primario y 12% sector alimentario. El principal derivado, el azúcar o sacarosa (tipos mascabado, estándar, blanco popular y refinado) tiene un consumo nacional promedio de 5 650 000 toneladas (aproximadamente 47 kg consumo per cápita/año) distribuido en 36.4% industrias de refrescos, jugos y bebidas, 9.6% industrias de confitería, repostería,

conservas, enlatados y productos lácteos; 37.1% como consumo directo y el resto en otros usos. Asimismo, la sacarosa aporta 17% de las calorías diarias de la población mexicana (CNIAA, 2011).

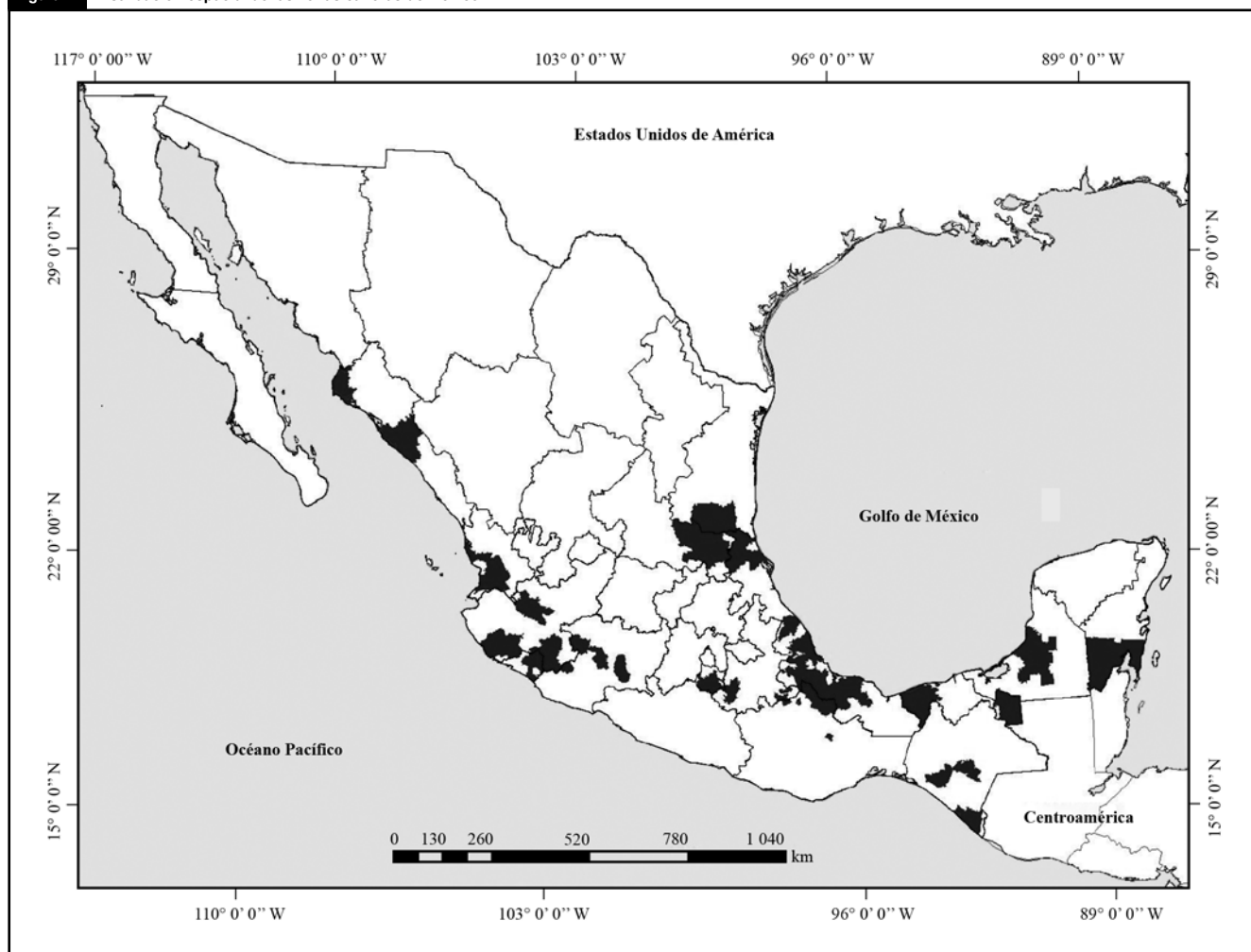
Sin embargo, la agroindustria mexicana del azúcar ha afrontado varias crisis económicas, originadas por un desajuste entre la producción de caña de azúcar y sacarosa; el consumo nacional, las limitadas exportaciones y la importación (figura 2). El diferencial entre ambas variables ha tenido fuertes efectos desestabilizadores, debido a que toda la rama azucarera del país se desarrolló orientada hacia el mercado interno, sin embargo, la creación de empresas –a partir de los subproductos del proceso del azúcar (ingenios sucro-alcoholeros o biorefinerías) y los biocombustibles como el etanol, que ofrece la posibilidad de sustituir o disminuir el consumo de gasolina y componentes oxigenantes– ha sido discutida ampliamente por los actores de la industria, académicos e investigadores como una alternativa y una estrategia lógica y económicamente ventajosa de

desarrollo para incrementar la competitividad y la sostenibilidad del sector, y hacia él deben dirigirse los objetivos de reorganización, reestructuración y diversificación de la producción en los ingenios azucareros. Sin embargo, a pesar de sus múltiples ventajas, es muy limitada en comparación con su potencial y las regiones cañeras continúan en la inercia productiva de caña y azúcar.

### 1. Etanol de caña de azúcar

La caña de azúcar es la más eficiente materia prima para biocombustibles (biodiesel, bioetanol y biogás) y junto a la cogeneración por combustión de bagazo vinculados con la industria azucarera para las demandas térmicas (vapor) y generación de la energía mecánica y eléctrica del proceso industrial y energía eléctrica excedente para la red pública, es fácilmente competitiva con el petróleo a precios actuales > \$100/barril, y con poco impacto interno sobre precios de los alimentos a diferencia del maíz (Hira, 2011).

Figura 1. Distribución espacial de las zonas cañeras de México.



En México, el análisis de la viabilidad de biocombustibles como el etanol (EtOH) y la demanda necesaria para utilizarlo en la gasolina, como oxigenante dentro del mercado interno, depende de varios aspectos a considerar:

- Productividad del campo cañero y costos de producción a la baja.
- Expansión controlada de la actual frontera agrícola de caña de azúcar, con modernos sistemas de gestión de agua, como cultivo en pastizales y tierras marginales.
- Autosuficiencia energética, a partir del bagazo de la caña y los residuos de cosecha. Cero petróleo.
- Economía de escala (mayor tamaño de las destilerías).
- Incorporación de la cogeneración, con entrega de electricidad a la red pública por el ingenio.
- Introducción de la biotecnología para mejorar los procesos de fermentación.
- Subsidios a la agricultura (producción de caña destinada para etanol y/o exportación de azúcar al mercado mundial).

Asimismo, se deben tomar en cuenta una serie de variables como productividad y competitividad del sector primario de la agroindustria azucarera, en sus aspectos geográficos, agronómicos, tecnológicos y legales: métodos de cultivo, el rendimiento, los sistemas de procesamiento y transporte hasta su usuario final, costos de producción y de mano de obra, ubicación del proyecto, precios en el mercado, así como el impacto en la producción de alimentos (azúcar) y el medio ambiente y la posibilidad de reconvertir ingenios azucareros a etanoleros; pero luego reestructurando las destilerías existentes en ellos tomando como materia prima

melazas A, B o C y después directamente del jugo de caña o subproductos lignocelulosicos. Si no se valoran estos factores, su producción en algunas regiones simplemente resultaría inviable (Domínguez-Pérez, 2008).

Sin embargo, para el establecimiento de negocios productivos basados en el etanol de caña de azúcar, desde el punto de vista de la demanda, la variable producción, reflejada en las estadísticas oficiales, no es necesariamente el punto de arranque del análisis de la agroindustria azucarera, sino que forma parte de una problemática global en la que intervienen otros aspectos de orden cultural, social, político, económico, técnico, educacional, entre otros; que limitan el desarrollo rural cañero y cuyo impacto es necesario estudiar, analizar y comprender a diversas escalas.

En este sentido, la producción de etanol en los ingenios azucareros con destilería disminuyó 75% en la presente década, como resultado de la caída global de la productividad que se reflejó en el incremento de la superficie sembrada, disminución de rendimientos de campo y de producción de sacarosa y melazas e incremento del precio de la materia de la agroindustria azucarera, así como la disminución del 12 al 4% en el periodo 1998-2011 en el uso de la melaza de caña en la producción de etanol hacia otros destinos o exportación (figuras 3 a 7).

Sin embargo, a pesar de la necesidad de establecer los puntos críticos del sistema cañero para incrementar la producción de etanol de caña, no existen trabajos de este tipo en México que permitan direccionar la agroindustria hacia una planeación económica prospectiva que permita expandir la

Figura 2. Balance azucarero mexicano, zafras 2000 a 2010.

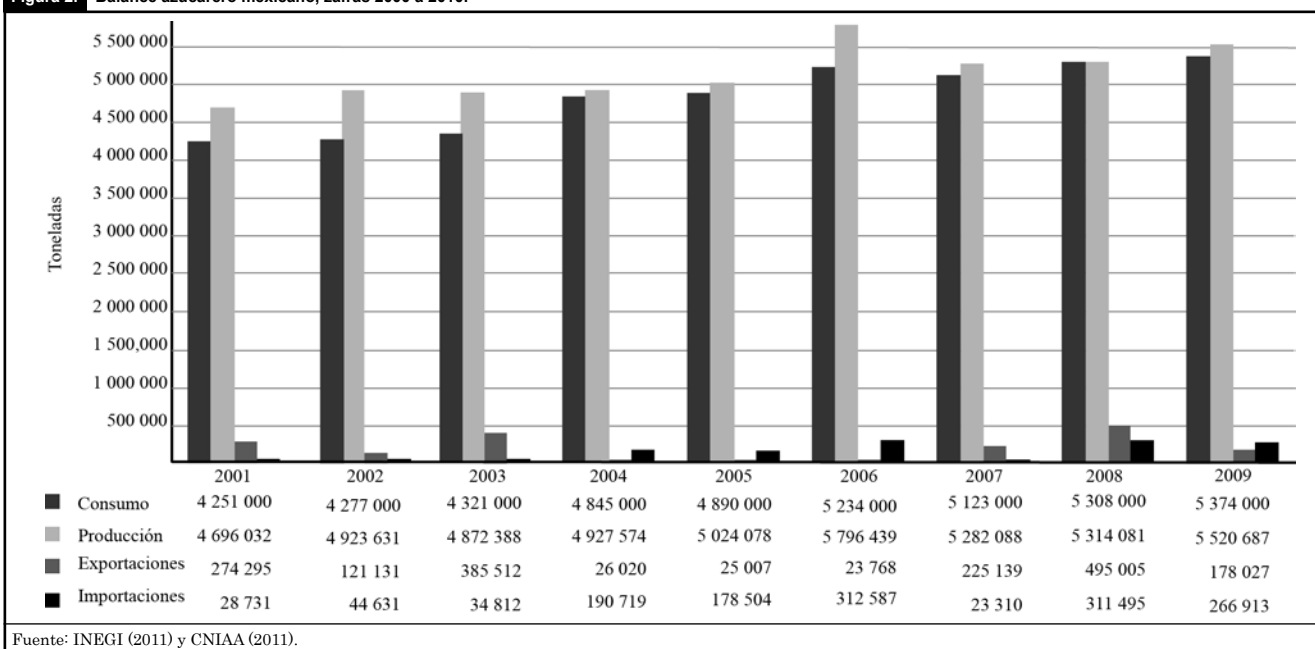
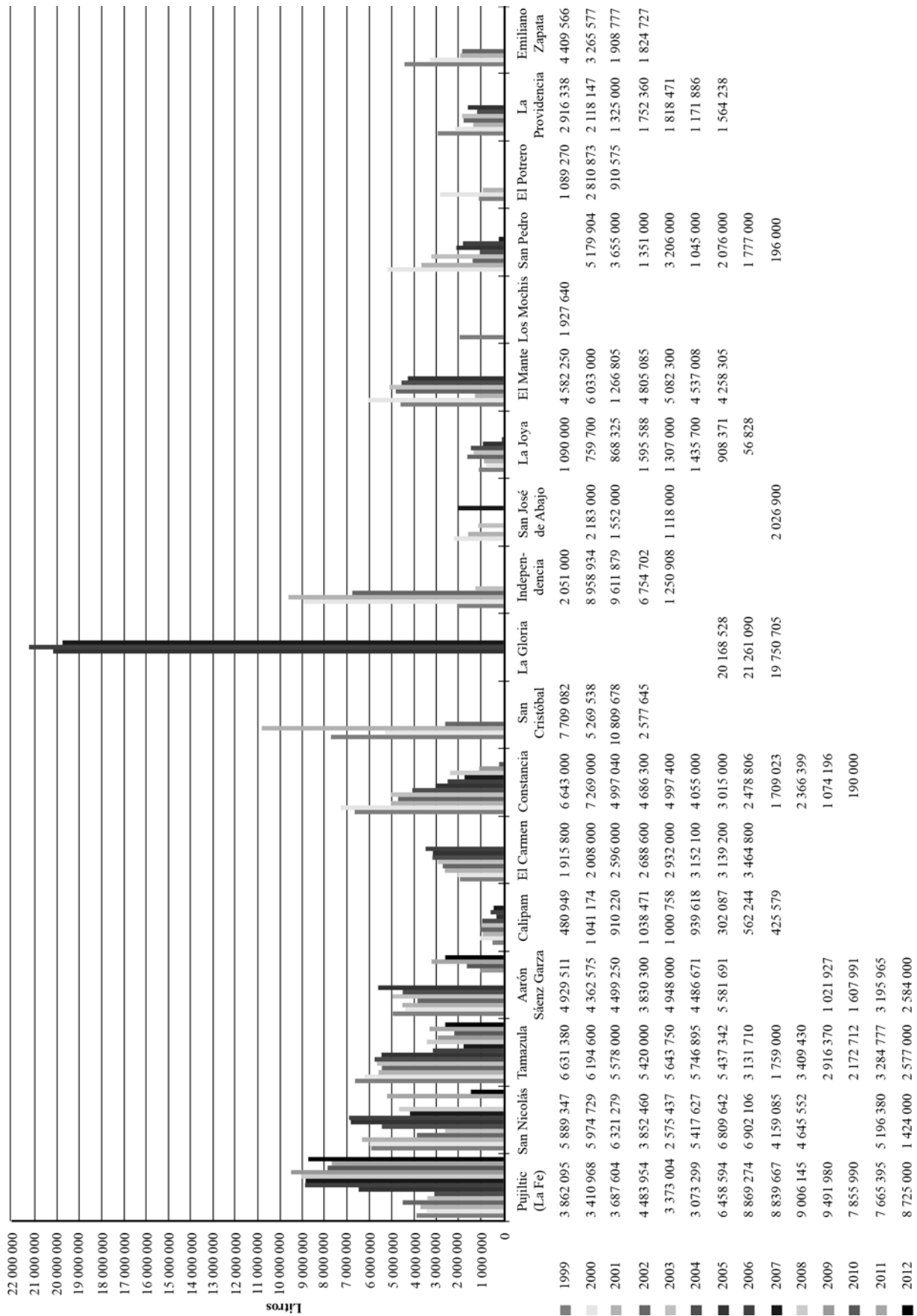


Figura 3. Producción de etanol en ingenios azucareros (cañas 1998/1999 a 2011/2012).



Fuente: elaboración propia con datos de CNPR (2012).

productividad y/o aprovechar las oportunidades de negocio del etanol combustible y su relación con el cambio climático.

En México, la caña de azúcar puede ser una alternativa al maíz en la producción de etanol, por tener una eficiencia energética más alta y no ser alimento básico escaso. Esto, siempre y cuando la superficie cañera para etanol no rebase la sembrada para alimentación y el precio del mismo no se eleve por la demanda que conlleve serias consecuencias para el precio del azúcar. Es decir, para el éxito de proyectos de diversificación por etanol combustible y otros, es necesario tomar como punto de partida el sector primario de la producción, es decir, el campo cañero, donde la problemática del sector rural en la agroindustria de la caña de azúcar de forma genérica, presenta un fenómeno que, entre otras cosas, muestra

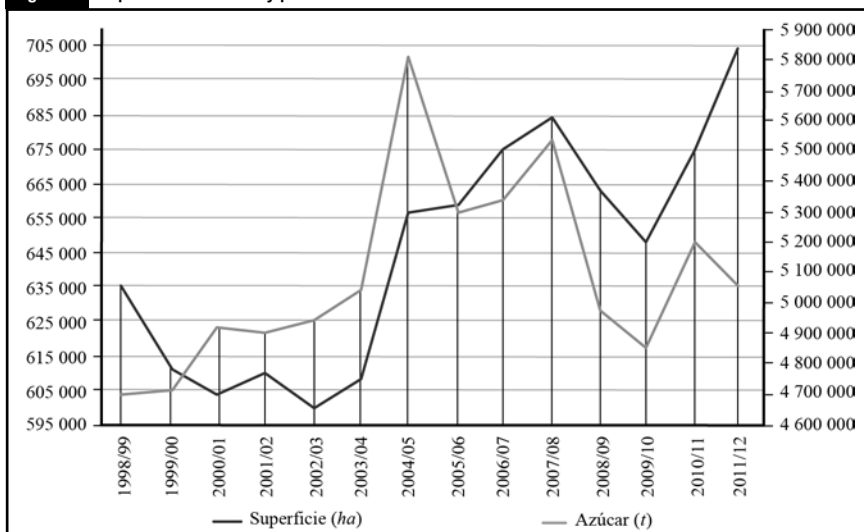
los siguientes rasgos: bajos ingresos y rendimientos por unidad de producción, fertilización deficiente; agricultores cañeros de predios pequeños (3 ha/productor), resistencia al cambio tecnológico consecuencia de sus valores culturales y creencias, relaciones sociales, falta de aplicación de reglamentos y normatividad fitosanitarios, y forma de organización que determinan la presencia del círculo vicioso de *bajos rendimientos–bajos ingresos–pobreza–marginación social, económica, ambiental y política* (figura 8).

En relación con lo anterior, los trabajos de investigación que abordan el tema generalizado de la producción de etanol en México dirigen su análisis al contexto meramente azucarero y algunos indicadores asociados a los procesos de primera generación, con melazas o jugo directo de caña como materia prima y la eficiencia en la operación de la operación unitaria de destilación (Enríquez, 2005). Se agrupan en tres grandes líneas de investigación: 1. Uso del etanol como aditivo anticontaminante, para oxigenar el aire de la ciudad y de México y combatir la emisión de gases de los automotores (GEIs); 2. Fermentaciones e ingeniería en el proceso industrial de obtención y purificación de etanol y 3. Apoyos al campo cañero y a la industria azucarera en las adversas circunstancias y crisis

que enfrentan (García, 2012; Fernández-López *et al.*, 2012; Schifter *et al.*, 2011; Cervantes, 2011; Frieden *et al.*, 2011; García *et al.*, 2010; Valdez-Vázquez, 2010; Becerra, 2009).

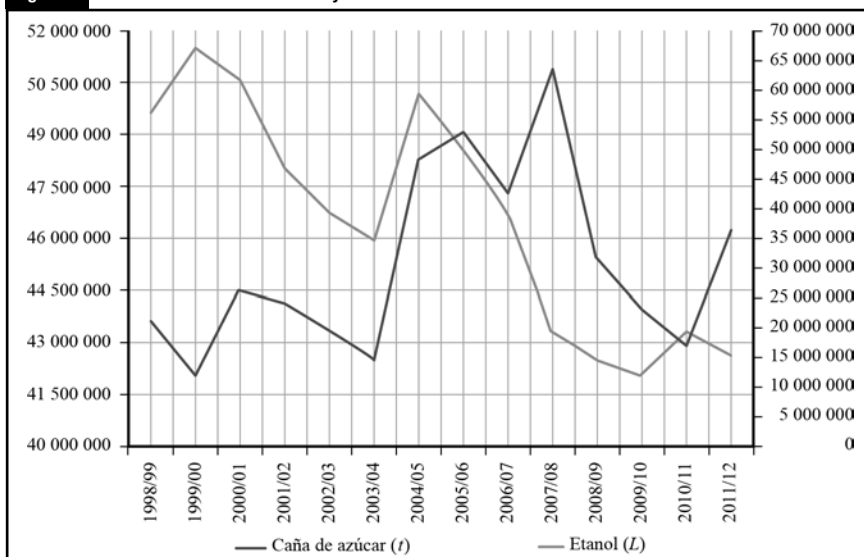
En este sentido, en la mayoría de las publicaciones existen escasas referencias a las relaciones entre los factores limitantes de la producción de caña de azúcar y calidad de la materia prima y su impacto en la producción de etanol en ingenios azucareros, destilerías autónomas o asociadas a la producción de sacarosa, y menos aún si existen otras plantas de derivados involucradas. Así, pocos estudios se han focalizado, a través de la integración de indicadores productivos y determinar qué zonas de abasto cañero o municipios productores tienen la potencialidad en función de su aptitud edafoclimática y los recursos y capacidades de las unidades productivas para expandir la productividad

Figura 4. Superficie cosechada y producción de azúcar.



Fuente: elaboración propia con datos de CNPR (2012).

Figura 5. Producción de caña de azúcar y etanol.



Fuente: elaboración propia con datos de CNPR (2012).

y la frontera agrícola para la producción de sacarosa y etanol. A nivel internacional solamente los trabajos de Renouf (2010) de Australia, Caro (2004) de Argentina y Dias De Oliveira (2008) y Moreton Chohfi (2004) de Brasil ofrecen una aproximación conceptual y metodológica para este abordaje. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un marco de análisis o metodología, basado en indicadores de la agroindustria azucarera, para evaluar la capacidad de expansión de la producción en campos cañeros para su conversión en etanol en ingenios azucareros, mediante el método multicriterio de jerarquías analíticas (AHP) para el análisis de sistemas complejos, la identificación de alternativas y su discusión para facilitar la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas.

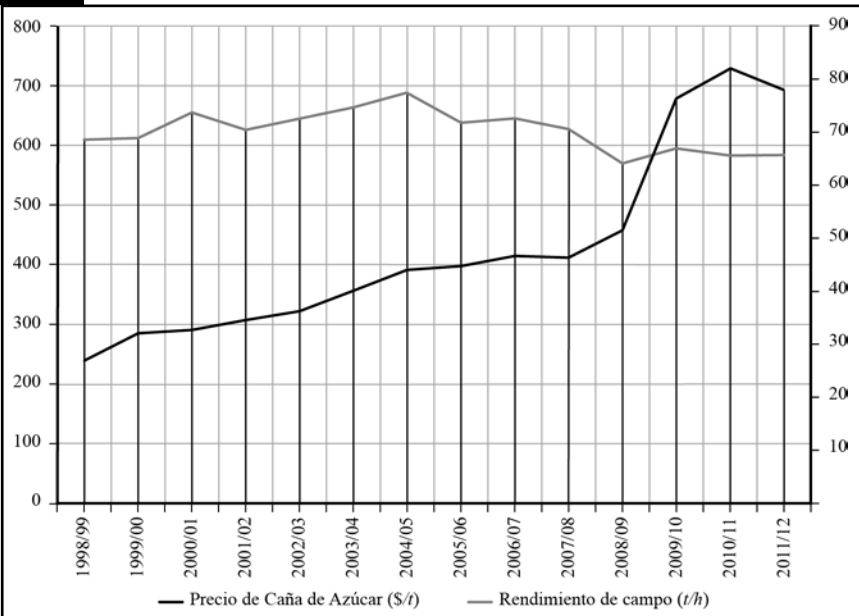
## 2. Materiales y métodos

El área de estudio comprendió las zonas de abasto cañero (municipios) que representan espacialmente las áreas sembradas con caña de azúcar de los 57 ingenios azucareros de México; las variables empleadas: rendimiento de campo y agroindustrial ( $t/ha$ ), unidades productivas con acceso a crédito (%), tenencia de la tierra (régimen ejidal o privado), superficie cañera con riego (%), superficie cañera en ciclo resoca (%), superficie cañera con diversificación del ingreso (%) y tamaño de la unidad productiva ( $ha$ ) han sido reportadas como indicadores de productividad o factores condicionantes limitantes de la capacidad para expandir la productividad de la unidad productiva para propósitos de

diversificación (Tienwong *et al.*, 2009; Ashfaq *et al.*, 2008; Escobal, 2004 y Chaplin, 2004). Los datos para el análisis se tomaron del Padrón de Productores de Caña de Azúcar (Zafra, 2006-2007) (SIAP, 2009), Plan Rector del Sistema Producto Caña de Azúcar (ASERCA, 2004) y los resultados promedio de las zafras 2000/2010 (CNPR, 2012) para su manejo en el módulo AHP del software ESRI ArcGis 9.2.

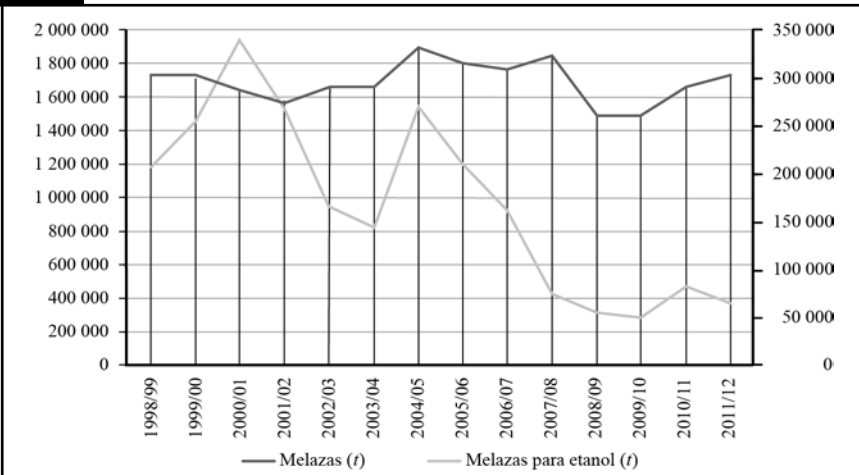
Para el análisis de los factores que inciden en la aptitud para expandir/diversificar la productividad primaria hacia azúcar o etanol, los enfoques multicriterio como metodologías de decisión, se han introducido en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) desde los años noventa (Malczewski, 1999). Los SIG son particularmente adecuados para el análisis espacial de sistemas productores de biomasa (agroindustrias). Su enfoque está basado en modelos espaciales específicos en el sector de la bioenergía (Voivontas *et al.*, 2000; Mitchell, 2000; Overend, 2000), en el análisis de suministro de biomasa, en la estimación del costo de transporte a las plantas existentes, así como en la selección de sitios de mayor aptitud para el desarrollo de cultivos energéticos. Al tener en cuenta las interacciones de varios aspectos críticos y la construcción de índices o parámetros compuestos, los SIG pueden ser útiles como apoyo a las decisiones (Phalan, 2009; Gómez-Limón, 2004, 2008).

**Figura 6.** Rendimiento de campo y precio de liquidación final.



Fuente: elaboración propia con datos de CNPR (2012).

**Figura 7.** Producción de melazas para etanol.

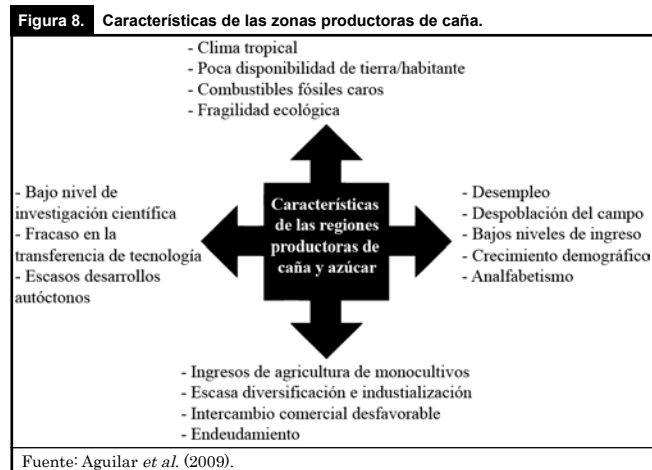


Fuente: elaboración propia con datos de CNPR (2012).

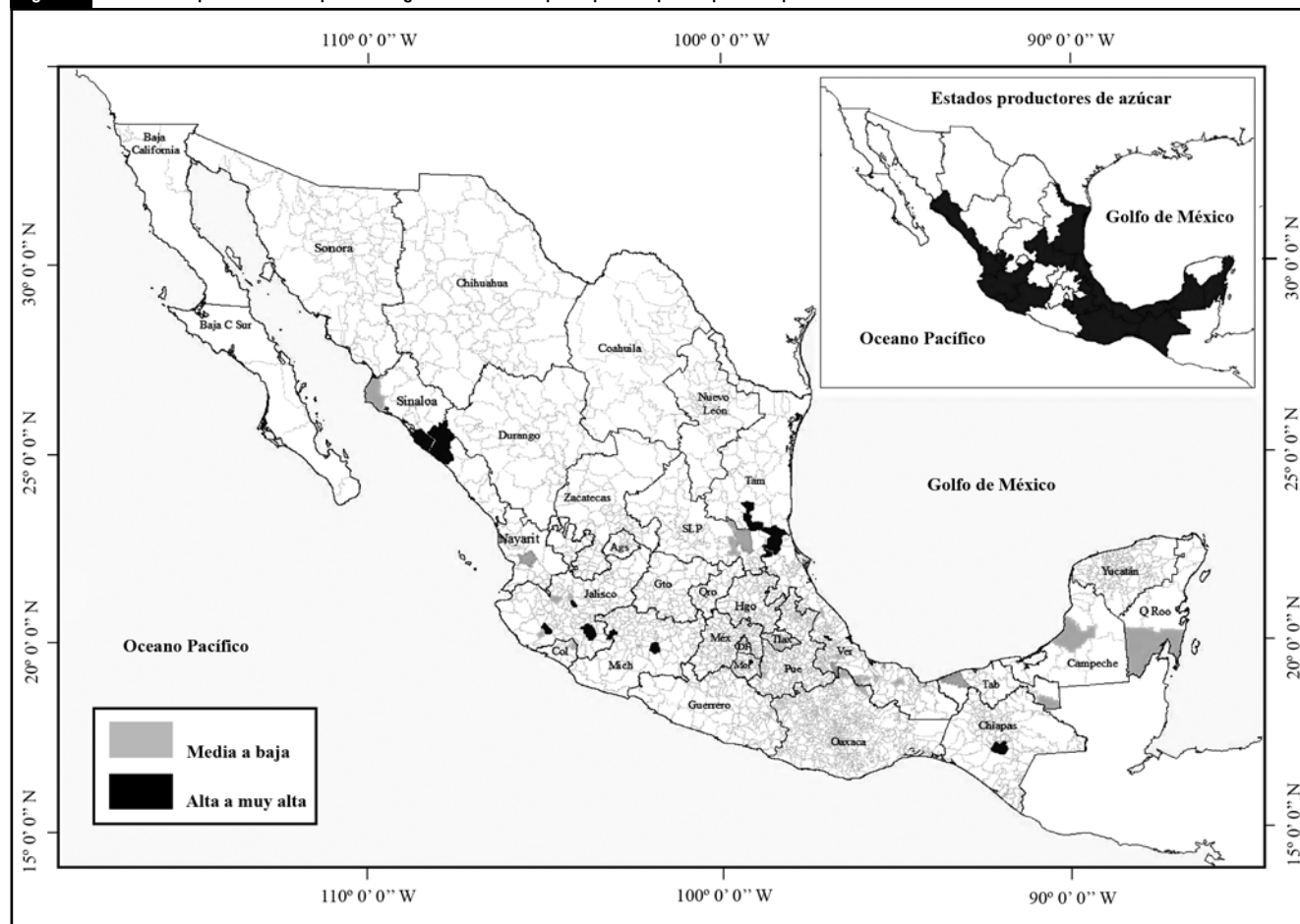
El Método de las Jerarquías Analíticas (AHP) de Saaty (1977, 1990) es factible de emplear en el diseño de indicadores o índices en numerosas aplicaciones espaciales (Şener *et al.*, 2010; Orán Cáceres, 2010; Silva *et al.*, 2009; Tenerelli, 2008; Díaz, 2000), ya que permite conjugar criterios, objetivos y subjetivos, en un mismo indicador a evaluar. Una vez obtenido el indicador, se estará en condiciones de evaluar el potencial de la cadena agroindustrial, es decir, AHP consta de tres etapas fundamentales, a saber: a) la estructuración de un problema extremadamente complejo como una jerarquía de objetivos, criterios y alternativas; b) la comparación por pares de los elementos en cada nivel de la jerarquía con respecto a cada elemento en el nivel anterior; y c) la síntesis vertical de los juicios sobre los distintos niveles de la jerarquía (Grimaldi, 2011; Sipahi, 2010; Bana e Costa, 2008) de acuerdo con la escala de Saaty (1977). Obtenidas las prioridades totales de las alternativas, AHP permite evaluar el error o inconsistencia de la matriz pareada; si es menor al 10% (índice  $IC < 0.1$ ) se considera aceptable y robusta (Sipahi, 2010).

### 3. Resultados y discusión

El análisis estableció que los factores: rendimiento de campo y agroindustrial, crédito y riego son los que se consideran más relevantes en el análisis de la capacidad para expandir la productividad en los predios cañeros y al ponderar las



**Figura 9. Ubicación espacial de municipios con ingenios azucareros por capacidad para expandir la productividad cañera.**



variables de campo cañero se obtuvo un instrumento de evaluación de zonas de abasto cañero por municipio de ubicación del ingenio azucarero (cuadros 1 a 3) que permitió determinar su capacidad (alta, media, baja y muy baja) como medida estándar o índice de expansión de la productividad en tallos y sacarosa por hectárea (TCH, TSH) con fines productivos (sacarosa y etanol).

Del total de los municipios abastecedores de caña de azúcar, sólo 16 (28%) presentan de alta a muy alta capacidad para expandir la productividad cañera, están espacialmente localizados en las zonas de abasto de los ingenios azucareros El Dorado, Aarón Sáenz Garza, El Mante, Melchor Ocampo, Mahuixtlán, Emiliano Zapata, La Gloria, Pederuales, San Francisco Ameca, Tamazula, Zapoapita, Santa Clara, Primavera, Pujilic, El Higo y José María Martínez Tala, en los estados de Jalisco (4), Veracruz (4), Sinaloa (2), Tamaulipas (2), Michoacán (2), Morelos (1) y Chiapas (1) donde solamente 5 ingenios producen etanol. El resto de las zonas de abasto (41) implica la necesidad de la integración del territorio como una unidad organizada o coordinada, sea en forma de cluster o distrito agroindustrial para disminuir los problemas logísticos y productivos del

campo y propicien innovaciones para incrementar el nivel de productividad y competitividad.

En este sentido, los factores limitantes de productividad determinados en este trabajo, para el cultivo de caña y su uso en la producción de sacarosa y etanol, son en primer lugar, las propiedades y características del medio o entorno geográfico que en un momento determinado influyen en el desarrollo y productividad del cultivo (rendimiento de campo y agroindustrial). Estos factores pueden ser diversos y deben agruparse en: a) factores que se relacionan con el medio o entorno geográfico, b) factores que resultan de características edafológicas naturales, c) factores que son procesos de degradación del suelo por influencia antropogénica y d) factores socioeconómico como el acceso a riego y créditos.

En este sentido, Melgar (2010) estableció que los rendimientos máximos de caña de azúcar alcanzan aproximadamente un 65% del rendimiento teórico, por lo que existe un alto potencial para incrementar la acumulación de sacarosa si los límites bioquímicos y fisiológicos pueden ser identificados y modificados. Para este objetivo se requiere desarrollar investigaciones en ciencias como biología molecular, bioquímica, fisiología y agronomía asociados a factores limitantes y prácticas agronómicas o tecnologías para proteger o incrementar el rendimiento cañero. Por lo tanto, la agroindustria azucarera debe hacer grandes avances en materia de productividad para expandir potencialmente la producción de etanol en el futuro cercano. La capacidad para diversificar la industria azucarera nacional está limitada a la imitación de ventajas comparativas, debido a que todos los ingenios, en semejantes condiciones de recursos, precio y capacidades, adquieren una única materia prima heterogénea en calidad y cantidad; por lo tanto, estas empresas presentan gran semejanza en términos de tecnología, mercados, productos finales. Así, el establecer proyectos

de diversificación y suroenergéticos basados en el etanol, de mayor alcance en una región o una planta industrial como las destilerías autónomas, podría tener repercusiones relacionadas con la satisfacción de la demanda de sacarosa y una variación significativa de su precio en el mercado, debido a la competencia por la materia prima (caña de azúcar) siendo la rentabilidad y el inventario de estos dos productos los que definan la repartición de caña y la variación de la superficie sembrada; así ambos mercados interactúan unidos por un elemento en común que es la producción de caña de azúcar.

**Cuadro 1.** Pesos de las variables de productividad cañera (nivel de inconsistencia 0.07).

Variables limitantes a productividad de municipios cañeros	Peso
Rendimiento de campo y agroindustrial (t/ha)	0.433
Unidades productivas con acceso a crédito (%)	0.175
Superficie cañera con riego (%)	0.150
Superficie cañera en ciclo resoca (%)	0.080
Superficie cañera con diversificación del ingreso (%)	0.074
Tamaño de la unidad productiva (ha)	0.060
Tenencia de la tierra (régimen ejidal o privado)	0.028
Suma	1.000

**Cuadro 2.** Instrumento de evaluación y ponderación de variables de productividad cañera.

Municipio:	Estado:	Puntos				Zafra:	
Factores limitantes a la productividad del campo cañero	Unidad	1	0.75	0.50	0.25	Peso	Subtotal
		Rendimiento de campo y agroindustrial	t/ha	>75	74-65		
Unidades productivas con acceso a crédito	%	>50	50-30	30-15	<15	0.175	
Superficie cañera con riego	%	>75	75-50	50-25	<25	0.150	
Superficie cañera en ciclo resoca	%	<30	30-40	40-50	>50	0.080	
Superficie cañera con diversificación del ingreso cañero	%	>50	50-40	40-30	<30	0.074	
Tamaño de la unidad productiva	ha	>10	10-7	7-4	<4	0.060	
Tenencia de la tierra (régimen ejidal o privado)	%	<30	30-50	50-75	>75	0.028	
Total							
Alta capacidad	Media capacidad	Baja capacidad		Muy baja capacidad			
>0.66	0.66-33	0.33-0.25		<0.25			



#### 4. Desarrollo prospectivo de la producción de etanol en México

Existen innumerables beneficios documentados en el uso de biocombustibles en la literatura científica, estos elementos justifican el aumento del porcentaje de adición de etanol (EtOH) y biodiesel en un futuro cercano en los automotores en México, sin embargo, para el desarrollo de los biocombustibles basados en el etanol, los avances y la agenda de trabajo del sector, desde una perspectiva de la complejidad, con visión global holística para la acción local, y la participación del liderazgo de expertos y académicos, especialistas, productores, decisores públicos y altas autoridades, no deberán estar restringidos exclusivamente a la tecnología como soluciones tecnológicas a los factores limitantes determinados en este trabajo y otros relacionados en los aspectos de producción de materias primas, servicios e insumos, industrialización, logística de cosecha y transporte, infraestructura, uso de subproductos, comercialización y consumidor final (industria automotriz, química, farmacéutica) como agente dinamizador.

Los ingenios azucareros y las destilerías autónomas productoras de etanol, de forma proactiva, también deberán estar comprometidos en el trabajo productivo y competitivo considerando aspectos sociales y ambientales, las mejoras en la calidad de vida de los trabajadores y productores, el uso eficiente de la tierra y del agua, la mitigación de los efectos generados por la necesaria cosecha mecanizada derivada de la lotificación y expansión de la frontera agrícola y productividad y la preservación de los ecosistemas, para el manejo de la incertidumbre en este tipo de agronegocios en función de diversos escenarios posibles, considerando otras variables de forma prospectiva como: la estimación tributaria por concepto de impuestos al estado, créditos, empleos y salarios, tipo de cambio, exportaciones e importaciones, fluctuaciones y volatilidad en el precio del azúcar, melazas, etanol y otros derivados, crecimiento y dinámica de la población y seguridad alimentaria, legislación, políticas públicas, normativas y costo de certificaciones económicas y ambientales, inversiones domésticas e internacionales, cambio climático, productividad del campo cañero, competencia de materia prima, caída y ascenso del precio del petróleo y otras

**Cuadro 3.** Índice de productividad de zonas de abasto de ingenios azucareros.

Alta			Media			Baja			Muy baja		
Municipio	Ponderación	Ingenios	Municipio	Ponderación	Ingenios	Municipio	Ponderación	Ingenios	Municipio	Ponderación	Ingenios
Culiacán	0.949	El Dorado	Coxcatlán	0.750	Calipam	Tepic	0.599	E. M. Puga	H. O.	0.500	Cuatotlapam
Xicoténcatl	0.858	A. Sáenz	Cuautla	0.742	Casasano	Tuxtepec	0.576	A. L. M.	Tezonapa	0.496	C. M. Constancia
El Mante	0.858	El Mante	La Antigua	0.731	El Modelo	Casimiro Castillo	0.569	J. M. M.	Paso del Macho	0.483	Central Progreso
Autlán de Navarro	0.850	M. O.	A. J.	0.716	Bellavista	Córdoba	0.561	S. M.	Tamasopo	0.479	Alianza Popular
Coatepec	0.837	Mahuixtlán	Chietla	0.706	Atencingo	A. P.	0.560	L. M.	Ixt.	0.464	El Carmen
Zacatepec de Hidalgo	0.830	E. Z.	Taretán	0.706	L. C.	O. P. B.	0.558	S. R. P.	Cos.	0.461	San Gabriel
Úrsulo Galván	0.830	La Gloria	Cuauhtémoc	0.675	Quesería	Ahome	0.547	Los Mochis	El Naranjo	0.444	S. M. N.
Tacámbaro	0.830	Pedernales	Huixtla	0.671	Huixtla	Atoyac	0.533	El Potrero	Ciudad Valles	0.381	P. S. L. Plan de Ayala
Ameca	0.830	Ameca	Cuichapa	0.635	P. S. N.	Tres Valles	0.530	Tres Valles	C. A. C.	0.381	San Cristóbal
Tamazula de Gordiano	0.827	Tamazula	Cuitláhuac	0.619	S. J. A.	Tenosique	0.530	Azsuremex	Champotón	0.367	La Joya
Pánuco	0.819	Zapoapita	L. T.	0.619	S. F. San Pedro	Cosolapa	0.505	El Refugio	Cárdenas	0.356	Benito Juárez, Santa Rosalía
Tocumbo	0.813	Santa Clara									
Navolato	0.806	Primavera									
V.Carranza	0.782	Pujilic									
El Higo	0.771	El Higo									
Tala	0.750	Tala									

Nota: M.O. = Melchor Ocampo; E. Z. = Emiliano Zapata; A. J. = Acatlán de Juárez; L. T. = Lerdo de Tejada; L. C. = Lazaro Cardenas; P. S. N. = Providencia San Nicolás; S. J. A. = San José de Abajo; S. F. = San Francisco; A. P. = Acatlán de Pérez; O. P. B. = Othón P. Blanco; E. M. = El Molino; A. L. M. = Adolfo López Mateos; J. M. M. = José María Morelos; S. M. = San Miguelito; L. M. = La Margarita; S. R. P. = San Rafael de Pucté; H. O. = Hueyapan de Ocampo; Ixt. = Ixtaczoquitlan; Cos. = Cosamalapan; C. A. C. = Carlos A. Carrillo; C. M. = Central Motzorongo; S. M. N. = San Miguel Naranjo; P. S. L. = Plan de San Luis.

materias primas; integración vertical de plantas industriales y la producción agrícola, equipos industriales y automatización, fertilizantes, agroquímicos y otros insumos como combustibles y lubricantes esenciales para la caña de azúcar, disponibilidad de tierras para expandir el cultivo, nuevos sustitutos calóricos y no calóricos de la sacarosa, mejora en la eficiencia de las materias primas competidoras (maíz, trigo, etc.), nuevas tecnologías generadoras de energía más competitiva (solar, eólica, nuclear, hidrógeno, etc.), tendencias de los consumidores finales, desarrollo intensivo de la biorefinería, alcohólica y sucroquímica y bioelectricidad (cogeneración eléctrica, bioplásticos, levaduras y aditivos, créditos de carbono, fármacos etc.), capacitación, capital intelectual y competencias en investigación y desarrollo (i&D).

Por otra parte, al considerar el aspecto tecnológico, la prospectiva producción de etanol (EtOH) a partir de la agroindustria azucarera, obliga a la integración de la destilería con la producción de sacarosa, lo que posibilita, no sólo el empleo de las mieles finales (C), sino también de los jugos, mieles intermedias (A y B) y el uso del bagazo y los residuos de cosecha (RAC) como energéticos evitando la quema y requema de cañaverales y la tendencia al manejo agroecológico de la caña de azúcar. La caña verde tendría mayor calidad y esto repercutiría en una mayor producción de sacarosa, bagazo, melazas y etanol. Los residuos resultantes podrían utilizarse como combustible en el proceso industrial y el resto que queda en el campo constituyen en el suelo una de las principales formas de transferir materiales y energía para el mantenimiento de los procesos que se desarrollan en un agroecosistema cañero.

En este sentido, Seebaluck (2008) planteó que la producción de Etanol (EtOH) tendría necesariamente cuatro alternativas para ser competitivo en un país en desarrollo como México:

*a) La estrategia tradicional de basarse sólo en la producción de azúcar.* Esta no es una estrategia eficaz, sobre todo si se planea abastecer el mercado interno y de exportación. Bajo esta estrategia, no hay normalmente ningún valor agregado, salvo ser a la vez proveedor de melazas a destilerías autónomas o la exportación; esta alternativa sólo es recomendable para los ingenios que presentan un mercado interno en la industria alimentaria, características de alta productividad, y que carecen de destilería (Atencingo, Tres Valles, Adolfo López Mateos, El Molino, etc.). Sin embargo, requieren mejorar su proceso de extracción o refinación de sacarosa y su capacidad de campo con objetivo de aumentar su rentabilidad.

*b) Sólo producir etanol (destilería autónoma).* Cuando la caña de azúcar se transfiere totalmente a la producción de etanol en una destilería autónoma, existen importantes ahorros en los costos de inversión de capital, ya que sólo las instalaciones

de preparación de caña y la extracción de jugo son necesarias. Sin embargo, el etanol sólo es viable para un mercado regional desabastecido estable; además se debe operar a una escala razonable y disponer de materia prima durante todo el año. Se recomienda particularmente para ingenios no productivos en sacarosas que podrían reconvertirse y/o utilizar su destilería en desuso y aprovechar una zona de abasto existente (por ejemplo, para los ingenios Independencia, La Concepción, Tenosique, La Joya, San Gabriel, Nuevo San Francisco, Benito Juárez, Cuatotolapam, San Cristóbal etcétera).

*c) Producción de azúcar y etanol en cantidades fijas.* Significa que se reservan todos los azúcares económicamente explotables en la meladura y el uso de mieles C o finales para la producción de etanol en destilerías anexas. Esta opción tradicional, sigue siendo viable si los precios del azúcar son competitivos, los mercados del azúcar y etanol son activos y los precios del petróleo estables. Esta alternativa podría ser adecuada para ingenios que poseen destilería como: Calpam, Casasano, Aarón Sáenz, El Mante, El Potrero, La Providencia, etcétera.

*d) Producción de azúcar y etanol en proporciones flexibles.* En este escenario, la sacarosa es extraída hasta las fases primaria y segunda, lo que resulta en la producción de melaza A o B, respectivamente. La presencia de azúcares fermentables adicionales aumenta la eficiencia de conversión a etanol. En consecuencia, si se espera que el etanol tenga un valor cercano a los mercados o mayor que el azúcar, entonces tiene sentido económico dar prioridad a la producción de etanol utilizando melaza A o B como materia prima. Si los precios de mercado fluctúan con el tiempo, un productor puede beneficiarse al tener la flexibilidad para cambiar entre estos productos finales. En consecuencia, la decisión de dar prioridad a la producción de azúcar o de etanol se realiza en el mercado, acorde con la experiencia brasileña. Podría funcionar para ingenios productores netos de etanol y azúcar como Constancia, Tamazula, Pujilic y San Nicolás.

Por lo que la agroindustria azucarera en la transición al ingenio sucro-alcoholero o biorefinería, requiere forzosamente un modelo de desarrollo, no un espejismo de la tendencia a producir sólo lo que Estados Unidos no es autosuficiente y México podría exportar dentro del Tratado de Libre Comercio; es decir, se requieren soluciones reales (estrategias al interior con políticas públicas diferenciadas) basados en nuevos sistemas de administración y gestión empresarial, 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.

## Conclusiones

Con el enfoque metodológico aplicado, se determinó que las variables: rendimiento de campo (TCH) y agroindustrial (TSH), acceso a crédito y riego explican el 75% de la capacidad para expandir la productividad cañera con fines de producción de sacarosa y etanol de los municipios donde se ubican los ingenios azucareros a un nivel de inconsistencia de 0.07. Es decir, la materia prima tuvo un peso significativo en la productividad, y gran parte de sus atributos de calidad condicionan la competitividad del sector agroindustrial (campo, fábrica, destilería). Estos resultados establecen la importancia de la integración de la multiplicidad de factores no sólo agronómicos y componentes

estructurales de cada agroecosistema cañero, por lo tanto, en el objetivo común de productividad y para transitar a un campo fragmentado (minifundio), desintegrado, improductivo y sobreexplotado, caracterizado por una agricultura de supervivencia altamente impactante al ambiente, las decisiones de alcance tecnológico no dependen de un solo factor, la mayoría de ellos controlables, modificados o minimizados su efecto mediante el manejo agronómico del cultivo (adecuación agroecológica de tierras, riego, mecanización, sobre todo la cosecha, fertilizantes, gestión de plagas y los procesos gerenciales), que permitan en el corto plazo ser autosuficientes a la agroindustria en las áreas de alimentos, energía y combustibles (sacarosa, cogeneración y etanol).



## Bibliografía

- Aguilar, R. N. (2009). "Diversificación productiva de la industria azucarera ¿Reto tecnológico, económico o social?", *Revista Mundo Siglo XXI*, 18.
- ASERCA (2004). *Plan Rector del sistema productivo caña de azúcar*. <[http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/PRector/24\\_SLP/AG\\_CanaAzucar.pdf](http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/PRector/24_SLP/AG_CanaAzucar.pdf)> .
- Ashfaq, M.; S. Hassan; M. Zeeshan Naseer; I. A. Baig & J. Asma. (2008). "Factors Affecting Farm Diversification in Rice-Wheat", *Pak. J. Agri. Sci.* Vol. 45, Núm. 3.
- Bana e Costa, C. A. & J. C. Vansnick. (2008). "A Critical Analysis of the Eigenvalue Method Used to Derive Priorities in AHP". *European Journal of Operational Research*. Vol. 187: 1422–1428.
- Becerra P. L. A. (2009). "La industria del etanol en México", *Economía UNAM*. Vol. 6, Núm. 16.
- Caro, R. F. (2004). *Balances Energéticos de Caña de Azúcar como Cultivo Energético en Tucumán, Argentina*. <<http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php?journal=rbagroecologia&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=9352&path%5B%5D=6490>>.
- CNIAA (2011). *Manual Azucarero Mexicano*. Ediciones 2000 a 2011.
- Chaplin, H.; Davidova & M. Gorton (2004). "Agricultural Adjustment and the Diversification of Farm Households and Corporate Farms in Central Europe", *Journal of Rural Studies*. Vol. 20, Núm. 1.
- Cervantes, H. S. L. y B. A. Montes D. (2011). "Viabilidad de la producción de biocombustibles para el transporte en México: 2008-2010", *Tiempo Económico*. Vol. 17, Núm. vi.
- CNPR (2012). *Estadísticas azucareras zafras 2001/2002 a 2010/2011*. <<http://www.caneros.org.mx/estadisticas.html>>.
- Dias De Oliveira, M. D. (2008). *Sugarcane and Ethanol Production and Carbon Dioxide Balances. Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Springer Science Business Media B. V.
- Díaz S. J. y J. L. Blanco (2000). "Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG", *Investigaciones Geográficas*. Vol. 41: 62-80
- Domínguez Pérez, C. A. (2008). *Un análisis económico costo-beneficio del etanol en México*. Tesis de grado de maestro en economía aplicada. El Colegio de la Frontera Norte/Tijuana, B. C., México. 149 p.
- Enríquez, P. M. (2005). *Producción de etanol anhidro en ingenios azucareros*. <<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3714/2/artmanuelenriquez.pdf>>.
- Escobal J. (2004). *Los determinantes de la diversificación del ingreso no agrícola en el Perú rural*. <<http://ftp.fao.org/docrep/fao/009/ah500s/ah500s01.pdf>>.
- Fernandez-Lopez, C. L.; B. Torrestiana-Sanchez; M. A. Salgado-Cervantes; P. G. Mendoza García & M. G. Aguilar-Uscanga (2012). Use of Sugarcane Molasses "B" as an Alternative for Ethanol Production with Wild-Type Yeast *Saccharomyces Cerevisiae* ITV-01 at High Sugar Concentrations. "Bioprocess Biosyst Eng", Vol. 35.

- Frieden, D.; N. Pena; D. N. Bird, H. Schwaiger & L. Canella (2011). *Emission Balances of First- and Second Generation Biofuels: Case Studies from Africa, Mexico and Indonesia*. Working Paper 70. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- García, C. & F. Manzini. (2012). "Environmental and Economic Feasibility of Sugarcane Ethanol for the Mexican Transport Sector", *Solar Energy*. Vol. 86.
- García, C.; F. Manzini & J. Islas. (2010). "Air Emissions Scenarios from Ethanol as a Gasoline Oxygenate in Mexico City Metropolitan Area", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14.
- Gómez-Limón, J. A. (2008). *Alternative Approaches on Constructing a Composite Indicator to Measure Agricultural Sustainability*. 107<sup>th</sup> EAAE Seminar "Modelling of Agricultural and Rural Development Policies", Sevilla, Spain, January 29th -February 1st.
- Gómez-Limón, J. A. (2004). "Identification of Public Objectives Related to Agricultural Sector Support", *Journal of Policy Modeling* Vol. 27, Núm. 8-9.
- Grimaldi, M. (2011). "An AHP-Based Framework for Selecting Knowledge Management Tools to Sustain Innovation Process", *Knowledge and Process Management*. Vol. 18, Núm. 1.
- Hira, A. (2011). "Sugar Rush: Prospects for a Global Ethanol Market", *Energy Policy*: 39.
- INEGI (2011). *Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos*. <[http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/continuas/economicas/exterior/2010/EXP\\_DOL\\_2010/ANU\\_XD\\_1.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/continuas/economicas/exterior/2010/EXP_DOL_2010/ANU_XD_1.pdf)>.
- Malczewski, J. (1999). *gis and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley, New York
- Melgar, M. (2010). *Tendencias de la investigación en caña de azúcar a nivel mundial CENGICANA*. Presentación de resultados de investigación Zafra 2009-2010 Guatemala.
- Mitchell, C. P. (2000). "Development of Decision Support Systems for Bioenergy Applications", *Biomass and Bioenergy*. Vol. 18.
- Moreton, C. (2004). *Balanço, análise de emissão e seqüestro de CO<sub>2</sub> na geração de eletricidade de excedente no setor sucro-alcooleiro*. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá Universidad Federal de Itajubá.
- Orán Cáceres, J. P.; M. Gómez Delgado & J. Bosque Sendra (2010). "Una propuesta complementaria de análisis de sensibilidad de un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio", en: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Overend, R. P & C. P. Mitchell., (2000). "Modelling biomass and bioenergy", *Biomass and Bioenergy*. Vol. 18.
- Renouf, M. (2010). "Life Cycle Assessment of Australian Sugarcane Products with a Focus on Cane Processing", *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <<http://www.springerlink.com/content/u348v16427207575/>>.
- Saaty, T. L. (1990). "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research*. Amsterdam. Vol. 48.
- Saaty, T. L. (1977). "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures", *Journal of Mathematical Psychology*. Vol. 15, Núm. 3.
- Şener Şehnaz, Ş; E. B. Nas' & R. Karagüzel (2010). "Combining AHP with GIS for Landfill Site Selection: a Case Study in the Lake Beyşehir Catchment Area (Konya, Turkey)", *Waste Management*. Vol. 30, Núm. 11.
- Seebaluck, R. (2008). *Bioenergy for Sustainable Development and Global Competitiveness: the Case of Sugar Cane in Southern Africa*. Cane Resources Network for Southern Africa (CARENSA).
- Schifter, I.; L. Díaz; R. Rodríguez & L. Salazar. (2011). "Oxygenated Transportation Fuels. Evaluation of Properties and Emission Performance in Light-Duty Vehicles in Mexico", *Fuel*. Vol. 90.
- Phalan, JR.; A. G. da Silva, R. Perez & E. L. Martins (2009). *Análise de investimento em unidade de produção de óleo vegetal utilizando a metodologia "Analytic Hierarchy Process" com o software "Expert Choice"*. 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática. Viçosa - MG. 21 a 25 de setembro.
- Sipahi, M. T. (2010). "The Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: an Overview of Applications" *Management Decision*. Vol. 48, Núm. 5.
- Sistema de Información Agropecuaria SIAP. (2009). *Padrón De Productores De Caña De Azúcar (Zafra 2006-2007)*. Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación SAGARPA.
- Tenerelli, P. & M. A. Monteleone (2008). *Combined Land-Crop Multicriteria Evaluation for Agro-Energy Planning*. Italy: SUSTOIL. University of Foggia. <<http://sites.google.com/site/sustoilfg/VP5.2.12.pdf>>.
- Valdez-Vazquez, I; J. A. Acevedo-Benitez & C. Hernandez-Santiago (2010). "Distribution and Potential of Bioenergy Resources from Agricultural Activities in Mexico", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14.
- Voivontas, D.; D. Assimacopoulos & E. G. Koukios (2001). "Assessment of Biomass Potential for Power Production: a GIS Based Method", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 20.
- Tienwong, K.; S. Dasananda & Ch. Navanugraha (2009). "Integration of Land Evaluation and the Analytical Hierarchical Process Method for Energy Crops in Kanchanaburi, Thailand", *ScienceAsia*. Vol. 35.