

ÍNDICE DE DIVERSIFICACIÓN DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA EN MÉXICO

DIVERSIFICATION INDEX OF THE SUGAR AGROINDUSTRY IN MÉXICO

Noé Aguilar-Rivera*

Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Km. 1 Carretera Peñuela Amatlán de los Reyes. S/N. 94945. Córdoba, Veracruz, México. (naguilar@uv.mx)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar un índice de diversificación de las zonas de abasto cañero y de las fábricas de azúcar de México mediante la metodología multi-criterio de Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica. Al incorporar criterios o factores tecnológicos y socioeconómicos relacionados con el balance material y energético de las fábricas de azúcar y derivados, y de productividad de los campos cañeros, fue posible determinar, mediante la resolución de la matriz de Saaty, que el rendimiento de campo y el acceso a riego y crédito, y el rendimiento de fábrica, número de bienes producidos y calidad de materia prima directamente en los ingenios y en municipios cañeros determinan 76 % y 78 %, respectivamente, de la capacidad de diversificación de la agroindustria azucarera.

Palabras clave: diversificación productiva, PAJ, zona de abasto cañero.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se empleó el análisis o evaluación multi-criterio (EMC) de Jerarquías Analíticas como marco metodológico para la construcción de un índice de diversificación o indicador compuesto, en un contexto en que la reconversión de la agroindustria azucarera es el resultado de una secuencia de decisiones por diversos actores y su implementación como estrategia local de supervivencia o competitividad, debe llevarse a cabo analizando *a priori* el peso específico y la interacción entre criterios o factores tecnológicos, ambientales y socioeconómicos que condicionan su implementación.

La evaluación multi-criterio se basa en indicadores económicos y ambientales, así como en la teoría de la

ABSTRACT

The objective of this study was to determine a diversification index of the sugar cane supply zones and of sugar factories in México, through the Analytic Hierarchy Process (AHP) multi-criteria methodology, in an environment of Geographic Information Systems. When incorporating technological and socioeconomic criteria or factors related to the material and energetic balance of the sugar and byproduct factories, and of productivity from the sugar cane fields, it was possible to determine through the resolution of the Saaty matrix, that the field yield and access to irrigation and credit, and the factory yield, number of goods produced and quality of the raw materials directly from the sugar factories and the sugar-producing municipalities determine 76 % and 78 % of the diversification capital of the sugar agroindustry, respectively.

Key words: productive diversification, PAJ sugar cane supply zone.

INTRODUCTION

In this article the Analytic Hierarchy Process (AHP) analysis or multi-criteria evaluation was used as a methodological framework for the construction of a diversification index or compound indicator within the context of the reconversion of the sugar agroindustry, being the result of a sequence of decisions by various actors, and its implementation as a local strategy for survival or competitiveness; it should be performed analyzing *a priori* the specific weight and the interaction between technological, environmental and socioeconomic criteria or factors that condition their implementation.

The multi-criteria evaluation is based on economic and environmental indicators, as well as on the decision theory of complex systems, for the formulation of indices required in decision-making, through the individual weighing and calculation

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2013. Aprobado: julio, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 11: 441-462. 2014.

decisión de sistemas complejos, para la formulación de índices requeridos en la toma de decisiones, mediante la ponderación individual y el cálculo de la importancia relativa o peso específico para cada criterio o factor y su conjunto multivariable, desde un punto de vista holístico multidisciplinario. Permite obtener mapas temáticos individuales y de aptitud al integrarse a un Sistema de Información Geográfica (SIG) que expresan espacial y temporalmente, mediante una jerarquía, el potencial diferenciado para diversos usos del suelo o los sistemas productivos agroindustriales y el ordenamiento del territorio, tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos (Mendoza y Martins, 2006; Díaz y Blanco, 2000).

En este sentido, a nivel mundial, por razones ambientales, económicas y sociales, la agroindustria azucarera, como un sistema complejo, se enfrenta al reto de transitar hacia la reconversión a biorefinerías y la diversificación productiva para garantizar su sostenibilidad como sistema productivo socioeconómico, derivado del inestable mercado azucarero, la alta tasa de adopción de Jarabes de Maíz de Alta Fructosa (JMAF) y otros edulcorantes no calóricos en la industria de alimentos. Sin embargo, la caña de azúcar (*Saccharum* spp.), materia prima de la agroindustria azucarera, es una planta C4 altamente eficiente en la conversión a biomasa. La naturaleza orgánica de los coproductos y subproductos de su procesamiento y las cantidades generadas cada temporada (zafra) son sus ventajas de potencialidad de reutilización y creación de nuevas cadenas productivas, como las biorefinerías o biofábricas en las áreas de alimentos, energía, materias primas, biocombustibles y tecnología de reciclaje y enriquecimiento para su posterior utilización como alimento animal (Gómez-Merino *et al.*, 2014). Es decir, tienen la ventaja biológica de ser precursores abundantes, generados de una agroindustria establecida, que pueden ser modificados mediante ligeros cambios físicos, químicos o biológicos, y la energía para su transformación puede satisfacerse utilizando el bagazo de caña o los residuos de cosecha. Esta situación cambió la perspectiva de la caña de azúcar y permitió alcanzar una dimensión nueva y superior para generar un ciclo de nuevas empresas, derivadas de productos tradicionales y nuevos. Desde la década de 1920 diversas sociedades, como la Asociación Internacional de Técnicos de la Caña de Azúcar (ISSCT), el Grupo de Países Latinoamericanos y de El Caribe Productores y Exportadores de

of the relative importance or specific weight for each criterion or factor and its multivariable set, from a holistic multidisciplinary point of view. It allows obtaining individual thematic and aptitude maps when being integrated into a Geographical Information System (GIS) that expresses spatially and temporally, through a hierarchy, the differentiated potential for diverse land uses or agroindustrial productive systems and land ordering, taking into account various criteria and multiple objectives (Mendoza and Martins, 2006; Díaz and J. L. Blanco, 2000).

In this sense, at the global level, because of environmental, economic and social reasons, the sugar agroindustry, as a complex system, faces the challenge of moving towards reconversion into biorefineries and productive diversification, in order to guarantee its sustainability as a socioeconomic productive system, derived from the unstable sugar market, the high rate of adoption of High Fructose Corn Syrup (HFCS) and other non-caloric sweeteners in the food industry, among others. However, sugar cane (*Saccharum* spp.), raw material for the sugar agroindustry, is a highly efficient C4 plant in biomass conversion. The organic nature of the coproducts and sub-products from its processing and the amounts generated each season (sugar cane harvest) are its advantages of potentiality for reutilization and creation of new productive chains, such as biorefineries or biofactories in the areas of food, energy, raw materials, biofuels and recycling technology, and enrichment for its later use as animal food (Gómez-Merino *et al.*, 2014). That is, they have the biological advantage of being abundant precursors, generated from an established agroindustry, which can be modified through slight physical, chemical or biological changes, and the energy for their transformation can be satisfied by using the sugar cane pulp or harvest residues. This situation changed the perspective of sugar cane and allowed reaching a new and higher dimension to generate a cycle of new enterprises, derived from traditional and new products. Since the 1920s diverse societies, such as the International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), the Group of Latin American and Caribbean Sugar Exporting Countries (*Grupo de Países Latinoamericanos y de El Caribe Productores y Exportadores de Azúcar*, GEPLACEA) and the Cuban Institute of Research of Sugar Cane

Azúcar (GEPLACEA) y el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), entre otros, junto a gobiernos, investigadores y empresarios, han promovido el uso diversificado de la agroindustria azucarera, basado en: 1) la diversificación agrícola, que es la implementación de cultivos alternativos mediante la intercalación y rotación de los mismos en las áreas cañeras; y 2) la diversificación industrial en el ingenio azucarero, que comprende el uso alternativo de la caña de azúcar y el aprovechamiento integral de la materia prima y los subproductos que se generan, tanto en la cosecha de la caña como en el procesamiento de la misma en la producción de azúcares, vapor y energía eléctrica, etanol, tableros, celulosa y papel, entre otros (Figura 1).

Byproducts (*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA*), among others, together with governments, researchers and businessmen, have promoted the diversified use of the sugar agroindustry, based on: 1) agricultural diversification, which is the implementation of alternative crops through interspersing and rotation of these in the sugar cane areas; and 2) industrial diversification in the sugar factory, which entails the alternative use of sugar cane and the integral use of the raw material and the sub-products generated, both during the cane harvest and during its processing for sugar production, vapor and electric energy, ethanol, planks, cellulose and paper, among others (Figure 1).

LA ESTRATEGIA DE DIVERSIFICACIÓN

En 1957 Davis y Goldberg definieron el agronegocio como la suma total de operaciones involucradas en

THE DIVERSIFICATION STRATEGY

In 1957, Davis and Goldberg defined the agribusiness as the total sum of operations involved in the transformation and distribution of the agricultural

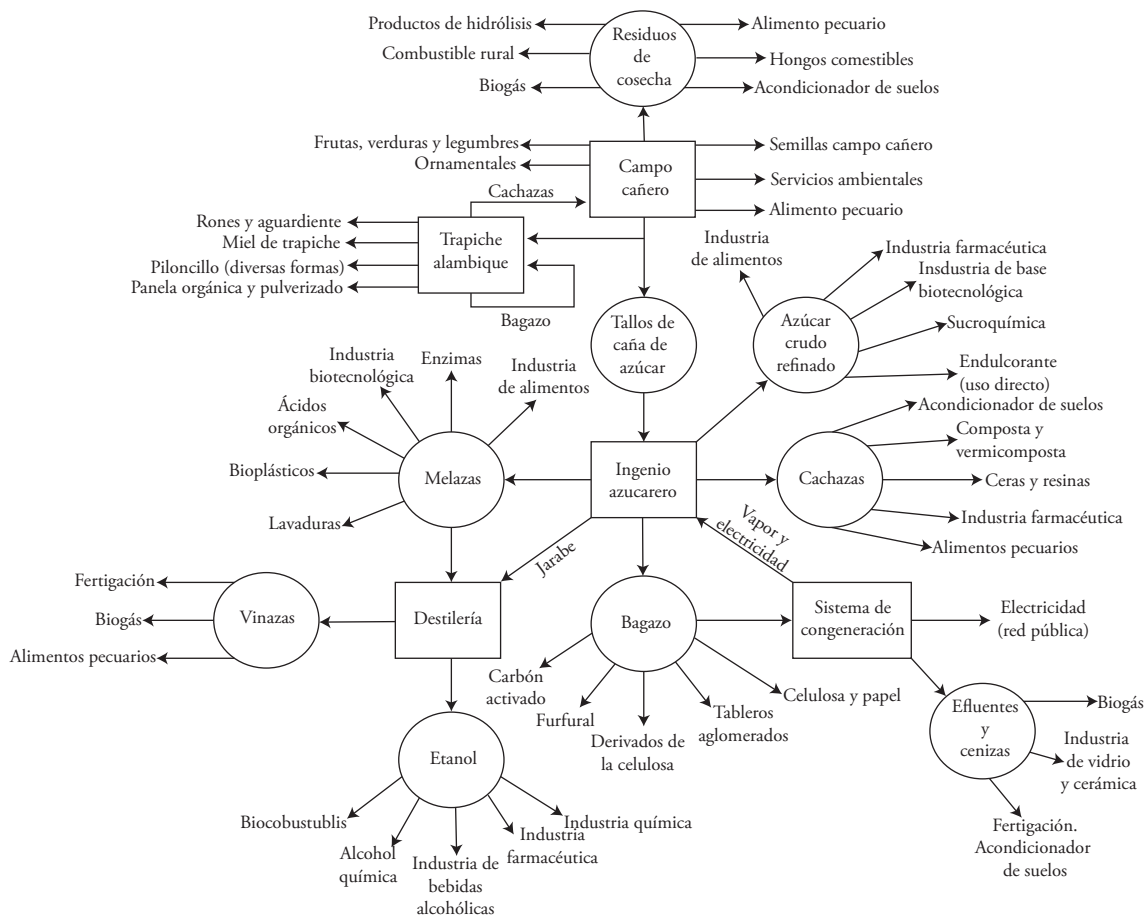


Figura 1. Derivados, coproductos y subproductos de la agroindustria azucarera.
Figure 1. Byproducts, co-products and sub-products of the sugar agroindustry.

la transformación y distribución de la oferta del agro, operaciones de producción, almacenamiento, procesamiento y distribución de las mercancías agrícolas y artículos producidos a partir de ellos. Más tarde la diversificación surge como un tópico central de investigación en economía y otras ciencias. Los trabajos iniciales de Ansoff (1965) concluyeron que existen dos grandes alternativas con respecto al crecimiento de una empresa: la estrategia de expansión y la de diversificación. Mediante la primera, la empresa sigue compitiendo en los mismos mercados y con los mismos productos con los que lo hacía anteriormente. En la segunda, la empresa se adentra en nuevos negocios a través de nuevos productos y mercados. Asimismo, se consideró a la diversificación como la entrada de la empresa en nuevos mercados con nuevos productos de manera simultánea, y considera cuatro tipos de estrategias de diversificación: a) horizontal, cuando en los nuevos mercados la empresa vende productos semejantes a los tradicionales; b) vertical o integración vertical, la cual busca asegurar la colocación de los productos relacionados con el ciclo completo de explotación del sector base de la empresa matriz, dentro de la propia unidad económica; de modo que la empresa se convierte en su propio proveedor o cliente y emprende actividades que antes eran cubiertas con operaciones de mercado; c) concentrada, cuando la empresa produce nuevos productos relacionados con el proceso tradicional y los vende en nuevos mercados o en el tradicional; y d) conglomerada, cuando los nuevos productos y mercados no están relacionados con los productos y mercados habituales de la empresa.

Rumelt (1982) consideró dos tipos de diversificación a) diversificación relacionada, cuando existen recursos compartidos entre los negocios, canales de distribución semejantes, mercados comunes, tecnologías compartidas o, en definitiva, cualquier intento tangible de explotar de forma conjunta factores de producción; y b) diversificación no relacionada cuando implica un mayor grado de ruptura, puesto que los nuevos productos y mercados no mantienen relación alguna con los tradicionales de la empresa de origen.

Ramanujam (1989) definió a la diversificación como la incursión del negocio base en nuevas líneas de negocios o empresas, a través de un proceso interno de desarrollo de nuevos productos o mediante fusiones y adquisiciones, lo que resulta en cambios en la estructura de producción y gestión de la empresa.

offer, production operations, storage, processing and distribution of agricultural commodities and articles produced from them. Later, diversification arose as a central topic of research in economy and other sciences. The initial works by Ansoff (1965) concluded that there are two large alternatives with regard to the growth of an enterprise: the strategy for expansion and for diversification. Through the first, the company continues to compete in the same markets and with the same products with which it has previously. Likewise, diversification is considered as the entrance of the company into new markets with new products simultaneously and considers four types of diversification strategies: a) horizontal, when the company sells products similar to the traditional ones in the new markets; b) vertical or vertical integration, which seeks to guarantee the placement of products related with the complete cycle of exploitation of the base sector of the matrix company within the economic unit itself, so that the company becomes its own supplier or client and undertakes activities that were previously covered with market operations; c) concentrated, when the company produces new products related with the traditional process and sells them in new markets or in the traditional one; and d) conglomerate, when the new products and markets are not related with the habitual products and markets of the company.

Rumelt (1982) considered two types of diversification: a) related diversification, when there are resources shared between the businesses, similar distribution channels, common markets, shared technologies or, definitely, any tangible attempt to exploit production factors in a joint manner; and b) unrelated diversification, when it implies a higher degree of separation, since the new products and markets do not have any relation with the traditional ones from the original enterprise.

Ramanujam (1989) defined diversification as the incursion of the base business into new lines of business or enterprises, through an internal process of development of new products or through fusions and acquisitions, resulting in changes in the production structure and management of the company.

Pope and Prescott (1980) and Ellis (2000) evaluated the factors that determine and lead farmers into beginning a diversification process and they considered that aspects such as the size of the productive unit, land ownership, education, age of

Pope y Prescott (1980) y Ellis (2000) evaluaron los factores que determinan y conducen a los agricultores a iniciar un proceso de diversificación y consideraron que aspectos como tamaño de la unidad productiva, tenencia de la tierra, educación, edad del productor y experiencia en nuevos proyectos son los más importantes.

Osorio (2009) y Martin y Sayrak (2003) reportaron una revisión sobre los temas de la diversificación de la empresa durante la última década, debido a que en la actualidad la literatura sobre este tema no solo involucra una gran variedad de perspectivas teóricas y disciplinas que justifican la diversificación de las empresas, sino que genera también un amplio rango de preguntas y temas de investigación de cómo es conceptualizada y medida.

Huerta-Riveros (2004, 2009) mencionó que la diversificación con el enfoque de la Teoría de Recursos y Capacidades trata de explicar los motivos por los cuales las empresas, que desarrollan su actividad en el mismo entorno competitivo y que estarían sujetas a los mismos factores de éxito identificados en el sector económico, obtienen niveles de rentabilidad diferenciados. Por tanto, el propósito es determinar el potencial de la empresa para establecer ventajas competitivas mediante la identificación y valoración de los recursos y habilidades que posee o a los que puede acceder.

LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA NACIONAL

En México, la producción de azúcar y la materia prima constituyen un sector productivo que presenta una dinámica fuerte, basada en su carácter social, económico y político de la agroindustria nacional. Al igual que la agroindustria azucarera, las zonas de abasto cañero, los ingenios azucareros, las destilerías, los grupos empresariales y los productores de caña de azúcar se encuentran distribuidos en seis 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 230 municipios (Cuadro 1 y Figura 2).

A nivel nacional, la producción para la zafra 2013/2014 la producción fue de 54 324 936 toneladas de caña, en un área cosechada de 789 490 ha, con

the producer and experience in new projects are the most important.

Osorio (2009) and Martin and Sayrak (2003) reported a revision about the issues of diversification of the enterprise during the last decade, because currently the literature about this issue not only involves a great variety of theoretical perspectives and disciplines that justify the diversification of enterprises, but it also generates a broad range of questions and research themes about how it is conceptualized and measured.

Huerta-Riveros (2004, 2009) mentioned that diversification with the approach of the Theory of Resources and Capacities attempts to explain the reasons why companies, which develop their activity in the same competitive environment and would be subject to the same factors for success identified in the economic sector, obtain differentiated profitability levels. Therefore, the purpose is to determine the potential of the company to establish competitive advantages through the identification and valuation of resources and abilities that the company has.

THE NATIONAL SUGAR AGROINDUSTRY

In México, production of sugar and its raw material constitutes a productive sector that presents strong dynamics, based on its social, economic and political character in the national agroindustry. Like the sugar agroindustry, the sugar cane supply zones, sugar factories, distilleries, entrepreneurial groups and sugar cane producers are distributed in six regions and 15 states: Northwestern Region (Sinaloa), Pacific Region (Nayarit, Colima, Jalisco and Michoacán), Central Region (Morelos and Puebla), Northeastern Region (Tamaulipas and San Luis Potosí), Gulf Region (Veracruz, Tabasco and Oaxaca) and Southeastern Region (Campeche, Chiapas and Quintana Roo), where sugar cane is produced and processed, although its presence is located in more than 230 municipalities (Table 1 and Figure 2).

At the national level, production for the 2013/2014 sugar cane harvest was 54 324 936 tons of cane, in a harvested area of 789 490 ha, with total sugar production of 6 016 578 t. The state of Veracruz is the first place in the country in terms of sugar cane production (37.7 %), surface sown and harvested (40.85 %) and, together with Jalisco (13.2%) and San Luis Potosí (9.03 %), covers 59.92% of

producción de azúcar total de 6 016 578 t. El estado de Veracruz ocupa el primer lugar nacional en cuanto a producción de caña de azúcar (37.7 %), superficie sembrada y cosechada (40.85 %) y, junto con Jalisco (13.2 %) y San Luis Potosí (9.03 %), cubre 59.92 % de la oferta nacional; no obstante, los mayores rendimientos por hectárea se obtuvieron en los estados de Puebla (112.36 t ha⁻¹), Morelos (109.76 t ha⁻¹), Jalisco (96.48 ha⁻¹), Michoacán (93.24 t ha⁻¹) y Chiapas (90.05 t ha⁻¹), con un promedio nacional de 68.79 t ha⁻¹ (INFOCAÑA, 2014).

the national offer; however, the highest yields per hectare were obtained in the states of Puebla (112.36 t ha⁻¹), Morelos (109.76 t ha⁻¹), Jalisco (96.48 ha⁻¹), Michoacán (93.24 t ha⁻¹) and Chiapas (90.05 t ha⁻¹), with a national average of 68.79 t ha⁻¹ (INFOCAÑA, 2014).

In México, the strategy for diversification and technological development in the field and factory, and the socioeconomic and ecologic limitations of the sugar agroindustry have been reported by Senties-Herrera *et al.*, (2014) and Aguilar *et al.*

Cuadro 1. Ingenios azucareros por Estado.

Table 1. Sugar factories per state.

Estado	Ingenios
Campeche	La Joya
Chiapas	Pujiltilc (La Fe)
	Huixtla
Colima	Quesería
Jalisco	Bellavista
	José María Morelos
	Melchor Ocampo
	San Francisco Ameca
	José María Martínez (Tala)
	Tamazula
	Tamazula
Michoacán	Pedernales
	Lázaro Cárdenas
	Santa Clara
Morelos	Casasano (La Abeja)
	Emiliano Zapata
Nayarit	El Molino
	Puga
Oaxaca	Adolfo López Mateos
	El Refugio
	La Margarita
Puebla	Atencingo
	Calípam
San Luis Potosí	Alianza Popular
	Plan de Ayala
	Plan de San Luis
	San Miguel del Naranjo
Quintana Roo	San Rafael de Pucté
Sinaloa	El Dorado
	Los Mochis
	La Primavera

Cuadro 1. Continuación.

Table 1. Continuation.

Estado	Ingenios
Tabasco	Azsuremex Tenosique
	Santa Rosalía
	Benito Juárez
Tamaulipas	Aarón Sáenz Garza
	El Mante (Xico)
Veracruz	*Independencia
	*Cuatrotolapam
	*San Gabriel
	*La Concepción
	*Nuevo San Francisco
	La Providencia
	El Modelo
	San Miguelito
	San Pedro
	Zapoapita
	Central Motzorongo
Central Progreso	
Constancia	
El Carmen	
El Higo	
El Potrero	
La Gloria	
Mahuixtlán	
San Cristóbal	
San José de Abajo	
San Nicolás	
Tres Valles	
15 Estados Total Nacional	57 Ingenios

*Con problemas de cierre definitivo ♦ With problems of definitive closing.

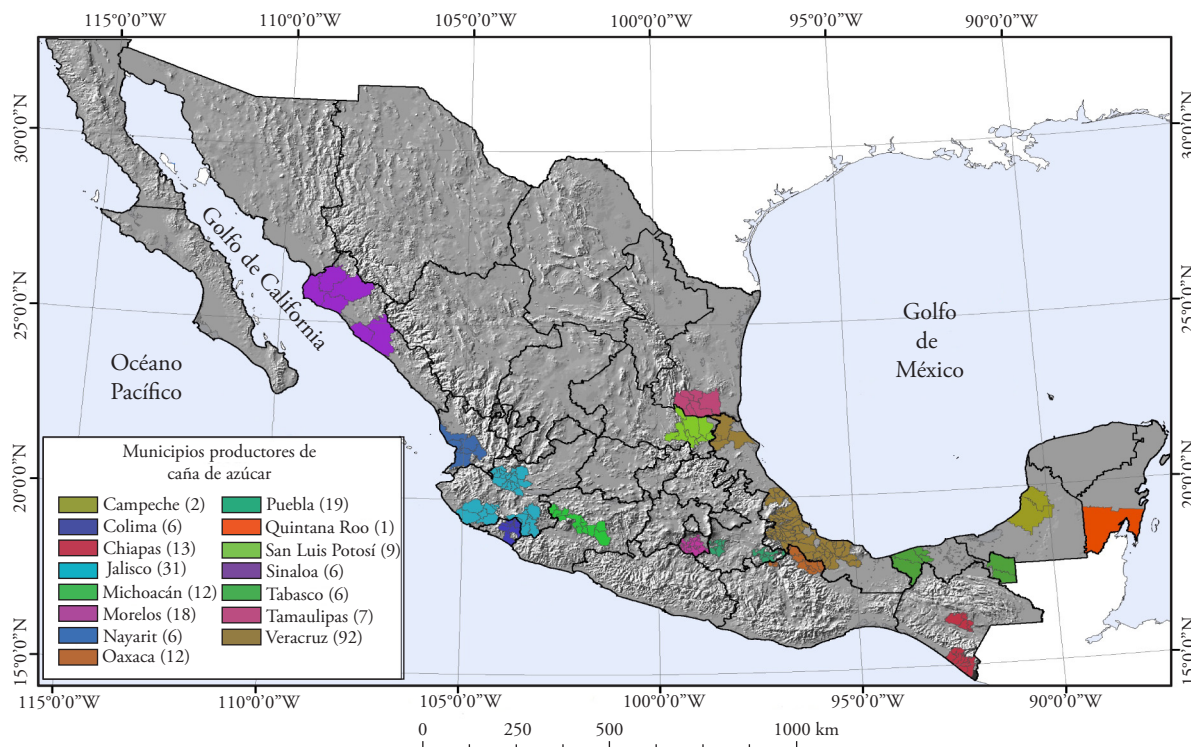


Figura 2. Municipios cañeros de México (con datos de Siazúcar 2014).
Figure 2. Sugar cane municipalities in México (with data from Siazúcar 2014).

En México, la estrategia de diversificación y el desarrollo tecnológico en campo y fábrica y las limitantes socioeconómicas y ecológicas de la agroindustria azucarera han sido reportadas por Senties-Herrera *et al.*, (2014) y Aguilar Rivera *et al.* (2012). Sin embargo, como en muchos otros países latinoamericanos, la mayoría de los estudios se han llevado al cabo solamente considerando las conclusiones y recomendaciones técnicas (Gálvez, 1990); de diversificación y las políticas relacionadas con la agroindustria azucarera (GEPLACEA, 1990; Paturau, 1989), han surgido desde las perspectivas de universalizar los criterios económicos del modelo agroindustrial, basados en los principios neoliberales de productividad de mercancías y producción a gran escala, y la fuerte aplicación de soluciones tecnológicas e insumos (principalmente agroquímicos, maquinaria y combustibles fósiles) para obtener resultados de alta producción (según el modelo *farmer* norteamericano) y responder a la considerable presión sobre la industria y las regiones para adaptarse a la globalización (Gerritsen, 2008). Por tanto, los estudios de la potencial diversificación relacionada y no relacionada en regiones cañeras, unidades productivas e ingenios azucareros, no han sido abordados metodológicamente con un modelo

(2012). However, as in many other Latin American countries, most of the studies have been carried out considering only the conclusions and technical recommendations (Gálvez, 1990) of diversification, and the policies related to the sugar agroindustry (GEPLACEA, 1990; Paturau, 1989); they have arisen from the perspectives of making the economic criteria of the agroindustrial model universal, based on the neoliberal principles of productivity of commodities and large-scale production, and the forceful application of technological solutions and inputs (primarily agrichemicals, machinery and fossil fuels) to obtain high production results (according to the North American farmer model), and responding to the considerable pressure on the industry and the regions to adapt to globalization (Gerritsen, 2008). Therefore, studies about the potential related and unrelated diversification in sugar cane regions, productive units and sugar factories, have not been addressed methodologically with a national model that allows making an inventory *a priori*, evaluating and planning the resources through the analysis of factors or criteria that explain the potential to carry out diversified agriculture, the dissemination of new crops, and other projects in the sugar factory such as

nacional que *a priori* permita inventariar, evaluar y planificar los recursos por medio del análisis de factores o criterios que expliquen el potencial para llevar a cabo la agricultura diversificada, la propagación de nuevos cultivos y otros proyectos en el ingenio azucarero, como la biorefinería (azúcares, alimentos pecuarios, compostas, energía eléctrica y etanol, entre otros). Es decir, la agroindustria azucarera a nivel regional y local necesita identificar el potencial mediante la valoración de los recursos y capacidades que posee o a los que puede acceder (tamaño y tipo de explotación y productores, ubicación geográfica, variedades comerciales mejoradas, acceso a crédito y riego, tecnología de extracción, experiencia en producciones diversificadas etcétera). Al considerar estos factores y su peso específico en el proceso diversificador podrían visualizarse escenarios locales y regionales para maximizar los factores de producción, tales como capital, mano de obra, la tierra y la tecnología disponibles para utilizar sus recursos, su experiencia y sus sinergias, con un impacto positivo en la rentabilidad y viabilidad económica actual y futura, con la creación de nuevos empleos en el sector rural y las empresas, conservar recursos no renovables, y ambiental por mitigación de gases de efecto invernadero (GEI's) en la cadena de valor de la agroindustria azucarera, de acuerdo con la experiencia de otros países, como fue reportado por Renouf *et al.* (2013); Renouf (2011); Solomon (2011); Birch, (2007); Higgins *et al.*, (2007), Roebeling *et al.*, (2006) y Mirkov *et al.* (2006).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el índice de diversificación de los municipios cañeros e ingenios azucareros de México, como indicador de su capacidad para diversificar su producción base (caña y azúcar), mediante el uso del método multicriterio AHP (Jerarquías Analíticas) en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La hipótesis de este trabajo plantea que es posible determinar la capacidad de diversificación (potencialidad) de la agroindustria azucarera en función de la integración de factores o indicadores individuales tecnológicos y socioeconómicos de productividad en los ingenios azucareros y del campo cañero (municipios productores) en un solo indicador compuesto, mediante la evaluación multi-criterio de toma de decisiones.

biorefinery (sugars, livestock food, compost, electric energy and ethanol, among others). That is, the sugar agroindustry at the regional and local levels need to identify the potential, through the valuation of resources and capacities, that it has or that it has access to (size and type of farm and producers, geographical location, improved commercial varieties, access to credit and irrigation, technology for extraction, experience in diversified production, etc.). When considering these factors and their specific weight in the diversifying process, local and regional scenarios could be imagined to maximize the production factors available, such as capital, labor, land and technology, to exploit its resources, experience and synergies with a positive impact on current and future profitability and economic viability, with the creation of new jobs in the rural sector and the companies, conserving non-renewable resources, and environmental as a result of mitigating greenhouse effect gases (GEGs), on the value chain of the sugar agroindustry based on experiences in other countries, as reported by Renouf *et al.* (2013); Renouf (2011); Solomon (2011); Birch, (2007); Higgins *et al.*, (2007), Roebeling *et al.*, (2006) and Mirkov *et al.* (2006).

The objective of this study was to determine the diversification index of sugar cane municipalities and sugar factories in México, as indicator of their capacity to diversify their base production (cane and sugar), through the use of the AHP (Analytic Hierarchy) multi-criteria method in an environment of Geographic Information Systems.

MATERIALS AND METHODS

The hypothesis for this study establishes that it is possible to determine the capacity for diversification (potentiality) of the sugar agroindustry in function of the integration of individual technologic and socioeconomic factors or indicators of productivity in sugar factories, and of the sugar cane field (producing municipalities), in a single composed indicator, through the multi-criteria evaluation of decision-making.

The study area comprised 57 sugar factories in México and 220 sugar cane-producing municipalities, and the conventional field and factory indicators. The selection of the criteria or factors employed, per hierarchical level and productive threshold (Table 2), were determined through the interview with

El área de estudio comprendió 57 ingenios azucareros de México y 220 municipios productores de caña de azúcar y los indicadores convencionales de campo y fábrica. La selección de los criterios o factores empleados, por nivel jerárquico y umbral productivo (Cuadro 2), se determinaron mediante la entrevista a ocho expertos de la Universidad Veracruzana con experiencia en investigación y desarrollo de la producción de caña de azúcar y su procesamiento, el análisis de los reportes de los estándares internacionales de competitividad para la industria azucarera de la Organización Internacional del Azúcar (ISO, 2005), los datos del Manual Azucarero Mexicano 2000 a 2011 (CNIAA, 2013), los diagnósticos agroindustriales del sector azucarero de Ahumada (2009), y los reportes de producción de la Confederación Nacional de Propietarios Cañeros para las zafras 2000/2011 (CNPR 2014). Para los municipios cañeros los datos se obtuvieron del Padrón de Productores de Caña de

eight experts from Universidad Veracruzana with experience in research and development of sugar cane production and its processing, the analysis of reports from the international competitiveness standards for the sugar industry by the International Sugar Organization (ISO, 2005), the data from the Mexican Sugar Manual (*Manual Azucarero Mexicano*) from 2000 to 2011 (CNIAA, 2013), the agroindustrial diagnoses of the sugar sector by Ahumada (2009), and the production reports from the National Confederation of Sugar Cane Owners (*Confederación Nacional de Propietarios Cañeros*) for the 2000/2011 harvests (CNPR, 2014). For the sugar cane municipalities the data were obtained from the Sugar Cane Producers Census (*Padrón de Productores de Caña de Azúcar*, 2006-2007 harvest) (Siazúcar 2014), the Mexican Sugar Manual (*Manual Azucarero Mexicano*) from 2000 to 2011 and the 2000/2011 harvest results (CNPR; 2014),

Cuadro 2. Factores para la diversificación de ingenios azucareros y zonas de abasto cañero (municipios).
Table 2. Factors for the diversification of sugar factories and sugar cane supply zones (municipalities).

Indicadores de municipios productores de caña de azúcar				
Nivel	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Rendimiento de campo (t ha ⁻¹)	>75	74-65	64-50	<50
Unidades productivas con Acceso a Crédito (%)	>50	50-30	30-15	<15
Superficie cañera con riego (%)	>75	75-50	50-25	<25
Superficie cañera en ciclo resoca (%)	<30	30-40	40-50	>50
Superficie cañera con diversificación del ingreso cañero (%)	>50	50-40	40-30	<30
Tamaño de la unidad productiva (ha)	>10	10-7	7-4	<4
Tenencia de la tierra (régimen ejidal o privado) (%)	<30	30-50	50-75	>75
Indicadores de ingenios azucareros				
Nivel	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Rendimiento de fábrica (%)	>12	12-11.5	11.5-10.5	<10.5
Tecnología (Eficiencia de fábrica) (%)	>85	85-83	83-80	<80
Tecnología (Tiempos perdidos por abasto de materia prima, problemas técnicos y con el personal de planta) (%)	<10	10-15	15-20	>20
Calidad de caña (% Sacarosa)	>14.5	14.5-13.5	13.5-12.5	<12.5
Consumo de electricidad externo (CFE) (KWH/t. caña)	0	0-0.5	0.5-1	>1
Consumo de combustible externo (PEMEX) (L petróleo/t. caña)	0	0-2	2-5	>5
Bienes producidos de la caña de azúcar (Azúcar estándar, mascabado, refinado, etanol, compostas, energía y otros)	>4	3	2	1

Azúcar (Zafra 2006-2007) (Siazúcar 2014), Manual Azucarero Mexicano 2000 a 2011 y los resultados de las zafas 2000/2011 (CNPR; 2014), considerando para su análisis el marco metodológico de construcción de indicadores compuestos con AHP de los trabajos de Rivera (2013); Oliveira *et al.* (2012); Aguilar *et al.* (2012); Eakin *et al.* (2011); Gómez-Limón y Sanchez-Fernandez (2010); Tienwong *et al.* (2009); Nagesha y Balachandra (2006) y Nardo *et al.* (2005).

Estos factores proporcionan información *a priori* sobre la capacidad de diversificación del sector. Se puede considerar en conjunto como índices óptimos para análisis comparativos (*benchmarking*) y son el único conjunto de datos coherentes, disponibles y reconocidos actualmente a nivel internacional para investigaciones de la dinámica del sector, y permiten ponderar la importancia relativa de cada uno de los criterios que entran en juego en el análisis del proceso diversificador, como fueron reportados en las conclusiones de Renouf (2011); Achabou y Tozanli (2009), Alonso-Pippo (2006) y Vlosky *et al.* (2005).

El procedimiento de ponderación y comparación de los factores se llevó a cabo utilizando el método de evaluación multicriterio de Jerarquías Analíticas (PAJ) desarrollado por Saaty en 1977. En este método de decisión se descompone un problema multifactorial complejo en una estructura jerárquica (Figura 3); para formalizar el proceso de decisión se utilizan matrices y álgebra lineal. PAJ determina el peso específico de cada alternativa, utilizando la teoría de eigenvalores y eigenvectores; consta de tres etapas fundamentales: 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, mediante una matriz de Saaty para priorizar factores; y c) la síntesis vertical de los juicios sobre los distintos niveles de la jerarquía (Toledo *et al.*, 2011).

Los procedimientos y los algoritmos disponibles en el módulo PAJ del software ESRI ArcGis 10.1 se utilizaron para calcular o priorizar los pesos de los niveles de los factores, de los indicadores convencionales de campo y fábrica, mediante la matriz de Saaty de nueve jerarquías de escala continua, importancia relativa, seguido por la normalización de los criterios o los factores resultantes, de acuerdo con su ponderación y el desarrollo de la representación espacial del índice de diversificación.

considering for their analysis the methodological framework of construction of compound indicators with AHP from studies by Rivera (2013); Oliveira *et al.* (2012); Aguilar *et al.* (2012); Eakin *et al.* (2011); Gómez-Limón and Sanchez-Fernandez (2010); Tienwong *et al.* (2009); Nagesha and Balachandra (2006) and Nardo *et al.* (2005).

These factors provide *a priori* information on the capacity for diversification of the sector. They can be considered jointly as optimal indices for comparative analyses (*benchmarking*) and they are the only set of coherent data, available and currently recognized at the international level for research about the dynamics of the sector, and they allow weighing the relative importance of each one of the criteria that come into play for the analysis of the diversifying process, as reported in the conclusions by Renouf *et al.* (2011); Achabou and Tozanli (2009), Alonso-Pippo (2006) and Vlosky *et al.* (2005).

The procedure for weighing and comparing the factors was carried out by using the Analytic Hierarchy (AHP) multi-criteria evaluation method developed in 1977. In this decision method a complex multifactorial problem is broken down into a hierarchical structure (Figure 3); to formalize the decision process, matrices and linear algebra are used. AHP determines the specific weight of each alternative, using the theory of eigenvalues and eigenvectors; it has three fundamental stages: a) structuring an extremely complex problem as a hierarchy of objectives, criteria and alternatives; b) pair comparison of the elements in each level of the hierarchy with regard to each element in the prior level, through a Saaty matrix to prioritize factors; and c) the vertical synthesis of the judgments about the different levels of the hierarchy (Toledo *et al.*, 2011).

The procedures and algorithms available in the AHP module of the ESRI ArcGis 10.1 software were used to calculate or prioritize the weights of the levels of the factors, the conventional field and the factory indicators, through the Saaty matrix of 9 hierarchies of continuous scale, relative importance, followed by the normalization of the criteria or the resulting factors, according to their weight and the development of the spatial representation of the diversification index.

Once the total priorities of the alternatives were obtained, AHP allowed evaluating the inconsistency of the interaction of the factors through the

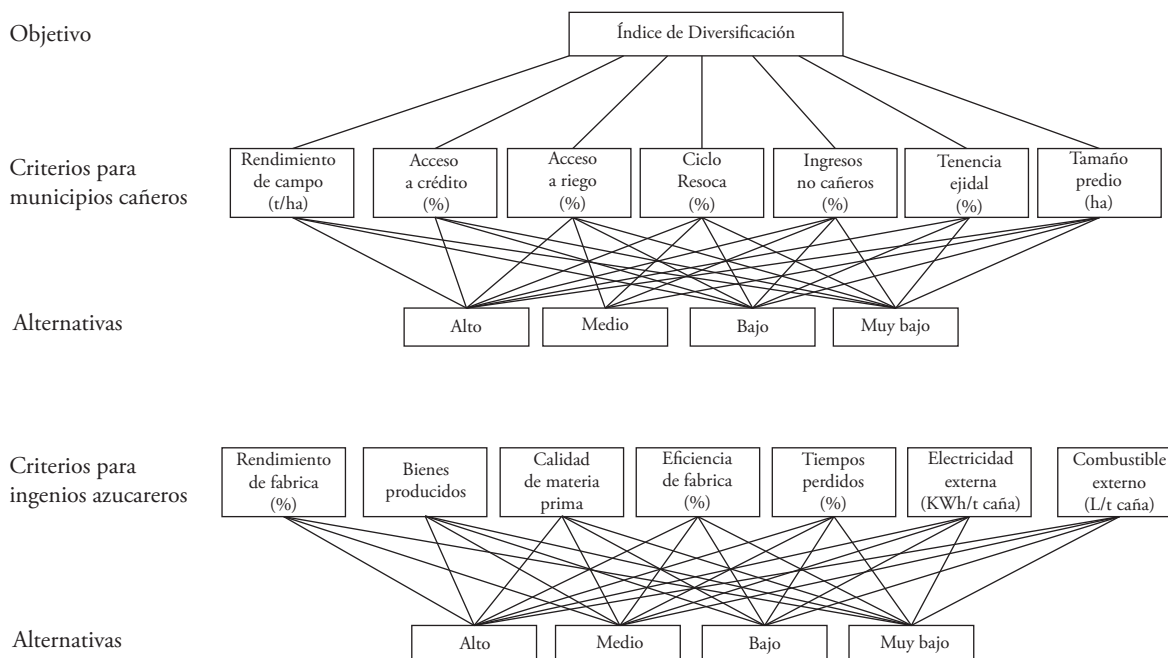


Figura 3. Estructura jerárquica de criterios o factores para la diversificación de la agroindustria azucarera.
Figure 3. Hierarchical structure of criteria or factors for diversification of the sugar agroindustry.

Obtenidas las prioridades totales de las alternativas, PAJ permitió evaluar la inconsistencia de la interacción de los factores por el índice de consistencia (IC) o error de una matriz pareada; si es menor a 0.1 el error se considera aceptable (Saaty, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 3 y 4 se presenta la matriz de comparación por pares a partir de la evaluación con la técnica multicriterio aplicada en el módulo PAJ de ESRI ArcGis 10.1 para ingenios azucareros y municipios cañeros.

Al resolver las matrices se determinaron los pesos específicos de cada criterio o factor (Cuadro 5)

Para ingenios azucareros se determinó que los criterios o factores: Rendimiento de fábrica y Bienes producidos de la caña de azúcar (azúcar estándar, blanco popular, mascabado, refinado, etanol, compostas y otros) son los que tienen mayor peso o incidencia en la capacidad para la producción diversificada potencial; de acuerdo con Wijesinghe *et al.* (2010); Oliverio *et al.* (2010) y Contreras *et al.* (2009), representan una mayor capacidad tecnológica, conocimiento técnico y experiencia del personal técnico del ingenio azucarero para transformar la materia prima y los subproductos (melaza, bagazo,

consistency index (CI) or error in a paired matrix; if the error is less than 0.1 it is considered acceptable (Saaty, 1990).

RESULTS AND DISCUSSION

The pairwise comparison matrix is presented in Tables 3 and 4, from the evaluation with the multicriterion technique applied in the AHP module of ESRI ArcGis 10.1 for sugar factories and sugar cane municipalities.

When solving for the matrices, the specific weights of each criterion or factor were determined (Table 5).

For sugar factories, it was determined that the criteria or factors: factory yield and goods produced from sugar cane (standard, popular white, muscovado and refined sugar, ethanol, compost and others) are the ones that have the highest weight or incidence in the capacity for potential diversified production. According to Wijesinghe *et al.* (2010); Oliverio *et al.* (2010) and Contreras *et al.* (2009), they represent a higher technological capacity, technical knowledge, and experience by the technical personnel of the sugar factory to transform the raw material and sub-products (molasses, pulp, sludge, ash, wine) into sucrose, energetics or to generate other final

Cuadro 3. Matriz de ponderación de variables para ingenios azucareros.
Table 3. Matrix for variable weighing for sugar factories.

Variable	Rendimiento de fábrica	Eficiencia de fábrica	Tiempos perdidos	Calidad de caña	Consumo de energía	Consumo de petróleo	Bienes producidos
Rendimiento de fábrica	1	6	5	4	8	8	1
Eficiencia de fábrica	1/6	1	2	2	6	4	5
Tiempos perdidos	1/5	1/2	1	2	7	3	5
Calidad de materia prima	1/4	1/2	1/2	1	6	5	4
Consumo de energía externa	1/8	1/6	1/7	1/6	1	2	9
Consumo de petróleo externo	1/8	1/4	1/3	1/5	1/2	1	9
Bienes producidos	1	1/5	1/5	1/4	1/9	1/9	1

cachazas, cenizas, vinazas) en sacarosa, energéticos o generar otros productos finales (cogeneración, etanol, compostas, refinado, mascabado, orgánico, etcétera). Para Calidad de caña (% sacarosa y % fibra), Eficiencia de fábrica (%) y Tiempos perdidos (%) su importancia se explica fundamentalmente por la cantidad de sacarosa y fibra que posea la materia prima, y tiene relación directa con los procesos de producción de caña de azúcar en el campo cañero, sistemas de manejo del cultivo y la tecnología necesaria para procesarla. En segundo lugar, la eficiencia de fábrica, al ser representativo de la cantidad de productos generados respecto a los insumos consumidos y la cantidad de tiempos totales perdidos en fábricas por diversos factores, lo cual está directamente relacionado con el grado de tecnificación u obsolescencia de los equipos de proceso (Kumar y Hasan, 2011). El resto: Consumo de electricidad externo (CFE) y Consumo de combustible externo (PEMEX), ambos por tonelada de caña,

products (cogeneration, ethanol, compost, refined, muscovado, organic, etc.). For Cane quality (% sucrose and % fiber), Factory efficiency (%) and Lost time (%), their importance is explained fundamentally by the amount of sucrose and fiber that the raw materials present, and have a direct relation with the production processes for sugar cane in the fields, the crop management systems, and the technology needed to process it. In the second place, factory efficiency, since it is representative of the number of products generated with regard to the inputs consumed and the total amount of time lost in factories from diverse factors, which is directly related to the degree of technification or obsolescence of the processing equipment (Kumar and Hasan, 2011). The rest: External electricity consumption (CFE) and External fuel consumption (PEMEX), both per ton of cane, reflect the energetic independence of the factory with regard to external fuels and, therefore,

Cuadro 4. Matriz de ponderación de variables para municipios cañeros.
Table 4. Matrix for variable weighing for sugar cane municipalities.

Variable	Rendimiento de campo	Unidades con acceso a crédito	Superficie cañera con riego	Superficie cañera en ciclo resoca	Diversificación del ingreso cañero	Tamaño de la unidad productiva	Tenencia de la tierra (ejidal)
Rendimiento de campo	1	5	4	9	8	7	9
Acceso a Crédito	1/5	1	2	6	8	3	8
Superficie cañera con acceso a riego	1/4	1/2	1	6	6	5	7
Superficie cañera en ciclo resoca	1/9	1/6	1/6	1	2	2	3
diversificación del ingreso cañero	1/8	1/8	1/6	1/2	1	5	2
Tamaño de la unidad productiva	1/7	1/3	1/5	1/2	1/5	1	3
Tenencia de la tierra (Ejidal)	1/9	1/8	1/7	1/3	1/2	1/3	1

reflejan la independencia energética del ingenio en relación con combustibles externos y por lo tanto, la capacidad de tener energía (vapor y electricidad) para su autoconsumo, proyectos de diversificación y excedentes en una posible comercialización.

Para los municipios productores de caña de azúcar, las variables rendimiento de campo y agroindustrial, acceso a crédito y riego son las que presentan mayor prioridad en la potencial diversificación en los predios cañeros hacia otros cultivos o actividades agropecuarias productivas extras al ingreso cañero (caña para piloncillo, meladura o semilla, producción de otros cultivos agrícolas, cría y explotación de animales, explotación forestal, pesca, etcétera). Este resultado es consistente con los reportado por Waclawovsky *et al.* (2010), que concluyeron que la obtención de altos rendimientos es clave para evitar la competencia con la producción de alimentos (sacarosa). Sin embargo, Renouf *et al.* (2013) establecieron que, si bien la productividad creciente cañera es un requisito para proyectos de diversificación, deben considerarse los efectos derivados del uso de tierra adicional, agua, semilla cañera, agroquímicos y la maquinaria agrícola e industrial y los potenciales efectos de eutrofización, acidificación y contaminantes del aire y la ecotoxicidad por el uso de herbicidas y plaguicidas. El resto de factores: ciclo resoca, diversificación del ingreso cañero, tamaño de la unidad productiva y tenencia ejidal se relacionan, de acuerdo con Higgins *et al.* (2007); Pérez (2007) y Windle y Rolfe (2003), como efectos a nivel micro en la potencial diversificación, y tienen que ver con las condiciones sociales, económicas y aun culturales de los productores y su comunidad, características físicas de la unidad productiva, insumos utilizados, fuentes de ingresos no agrícolas, infraestructura, acceso a servicios, como educación, capacitación, extensión y asistencia técnica, así como los atributos específicos del proyecto de diversificación en proceso o potencial a desarrollar en su mejor condición agroecológica y socioeconómica.

Al ponderar y normalizar en escala 0 a 1 cada uno de los niveles de los criterios o factores de acuerdo con los valores del Cuadro 5 y su estructura jerárquica, se obtuvo el instrumento de evaluación que permitió calificar cada indicador convencional por ingenio azucarero (57) y municipio productor (220) en su capacidad potencial o aptitud (alta, media, baja y muy baja) para proyectos de diversificación (Cuadros 6, 7 y 8) y obtener una nueva base de datos que

Cuadro 5. Pesos de los criterios o factores de diversificación de ingenios azucareros (Nivel de inconsistencia 0.06) y municipios cañeros (Nivel de inconsistencia 0.07).

Table 5. Weight of the diversification criteria or factors of sugar factories (Level of inconsistency 0.06) and sugar cane municipalities (Level of inconsistency 0.07).

Criterios para municipios cañeros	Peso
Rendimiento de campo y agroindustrial (t ha ⁻¹)	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
Criterios para ingenios azucareros	Peso
Rendimiento de fábrica (%)	0.332
Bienes producidos de la caña de azúcar (Azúcar estándar, mascabado, refinado, etanol, composta y otros)	0.327
Calidad de caña (% sacarosa y % Fibra)	0.121
Tecnología (Eficiencia de fábrica) (%)	0.092
Tecnología (Tiempos perdidos) (%)	0.077
Consumo externo de electricidad (CFE) KWH/t. caña	0.027
Consumo de combustible externo (PE-MEX) L petróleo/t. caña	0.025
Suma	1.000

the capacity to have energy (vapor and electricity) for its auto-consumption, diversification projects and surplus in a possible commercialization.

For the sugar cane producing municipalities, the variables: field and agroindustrial yield, access to credit and irrigation, are the ones that present highest priority in the potential diversification of the cane lands towards other crops or productive agricultural and livestock activities besides the cane income (cane for brown sugar, syrup or seed, production of other agricultural crops, animal breeding and exploitation, forest use, fishery, etc.). This result is consistent with Waclawovsky *et al.* (2010), who concluded that obtaining high yields is key in

Cuadro 6. Instrumento de evaluación para la diversificación de la agroindustria azucarera.
Table 6. Evaluation instrument for the diversification of the sugar agroindustry.

Municipios cañeros					
Criterios	Puntos y normalización				Calificación parcial
	Alta (1)	Media (0.75)	Baja (0.50)	Muy baja (0.25)	
Rendimiento de campo (t ha ⁻¹)	>75 0.433	74-65 0.32475	64-50 0.2165	<50 0.10825	
Unidades productivas con acceso a crédito (%)	>50 0.175	50-30 0.13125	30-15 0.0875	<15 0.04375	
Superficie cañera con riego (%)	>75 0.150	75-50 0.1125	50-25 0.075	<25 0.0375	
Superficie cañera en ciclo resoca (%)	<30 0.080	30-40 0.060	40-50 0.040	>50 0.020	
Superficie cañera con diversificación del ingreso (%)	>50 0.074	50-40 0.055	40-30 0.037	<30 0.0185	
Tamaño de la unidad productiva (%)	>10 0.060	10-7 0.045	7-4 0.030	<4 0.015	
Tenencia de la tierra régimen ejidal (%)	<30 0.028	30-50 0.021	50-75 0.014	>75 0.007	
Total municipio cañero					Calificación final
Ingenios Azucareros					
Criterios	Puntos y normalización				Calificación parcial
	Alta (1)	Media (0.75)	Baja (0.50)	Muy baja (0.25)	
Rendimiento de fábrica (%)	>12 0.332	12-11.5 0.249	11.5-10.5 0.166	<10.5 0.083	
Eficiencia de fábrica (%)	>85 0.092	85-83 0.069	83-80 0.046	<80 0.023	
Tiempos perdidos (%)	<10 0.077	10-15 0.05775	15-20 0.0385	>20 0.01925	
Calidad de caña (% sacarosa)	>14.5 0.121	14.5-13.5 0.09075	13.5-12.5 0.0605	<12.5 0.03025	
Consumo de externo electricidad (CFE) (KWH/t. caña)	0 0.027	0-0.5 0.02025	0.5-1 0.0135	>1 0.00675	
Consumo de externo combustóleo (PEMEX) (L)	0 0.025	0-2 0.01875	2-5 0.0125	>5 0.00625	
Bienes producidos (Estándar, mascabado, refinado, etanol, composta y otros)	>4 0.327	3 0.24525	2 0.1635	1 0.08175	
Total ingenio azucarero					Calificación final

Cuadro 7. Índice de Diversificación de ingenios azucareros para diversificar su producción (1=Alta capacidad, 0=nula).
Table 7. Diversification Index of sugar factories to diversify their production (1=High capacity, 0=null).

Alta		Media		Baja		Muy baja	
Ingenio	Valor	Ingenio	Valor	Ingenio	Valor	Ingenio	Valor
Constancia	0.922	A. López Mateos	0.693	Santa Rosalía	0.639	El Higo	0.560
Central Motzorongo	0.901	Puga	0.676	Ameca	0.636	Santa Clara	0.557
Atencingo	0.883	Pablo Machado	0.671	José María Morelos	0.635	Alianza Popular	0.542
La Gloria	0.861	Casasano	0.662	El Modelo	0.630	Zapoapita	0.542
Pujilic (La Fe)	0.831	Mahuixtlán	0.659	Tala	0.624	Benito Juárez	0.481
Melchor Ocampo	0.831	Quesería	0.656	Plan de San Luis	0.620	San Rafael Pucte	0.442
San Miguel del Naranjo	0.828	Pedernales	0.655	Bellavista	0.606	San Miguelito	0.432
Tamazula	0.739			La Providencia	0.605	Cuatotolapam	0.409
El Potrero	0.737			Lázaro Cárdenas	0.601	Huixtla	0.397
San José de Abajo	0.733			El Mante	0.582	La Joya	0.388
Central Progreso	0.726					Plan de Ayala	0.382
Tres Valles	0.723					El Carmen	0.372
Aarón Sáenz Garza	0.714					El Dorado	0.367
San Nicolás	0.713					La Primavera	0.360
El Molino	0.711					San Cristóbal	0.354
Emiliano Zapata	0.710					Azsuremex	0.325
El Refugio	0.702					Calipam	0.319
						San Pedro	0.316
						Los Mochis	0.303
						San Francisco	0.293
						San Gabriel	0.274
						Independencia	0.264
						La Concepción	0.237

al incorporarse en el SIG generó un mapa de salida de su ubicación espacial por aptitud (Figuras 4 y 5). Este instrumento puede determinar la dinámica de la capacidad de ingenios azucareros y municipios para diversificarse al variar los resultados o indicadores en cada zafra, partiendo de variables reconocidas a nivel internacional.

Los ingenios azucareros de alta y media potencia- lidad (24), que representan 42 % nacional, se agrupan principalmente en 100 % de las fábricas de azú- car de Oaxaca (3), Morelos (2), Nayarit (2) y Colima (1); 50 % de Puebla y 41 % de Veracruz (9). El 58 % restante (33) no tiene esa capacidad, bien sea por pro- blemas de ineficiencia, obsolescencia o inexperiencia en proyectos de diversificación y que se caracterizan por tener una estructura monoprodutiva.

Los municipios productores que presentan alta y media potencialidad (116) están localizados

preventing the competition with food production (sucrose). However, Renouf *et al.* (2013) established that although increasing cane productivity is a requisite for diversification projects, the effects derived from the use of additional land, water, cane seed, agrichemicals and agricultural and industrial machinery should be taken into account, as well as the potential effects by eutrophication, acidification and air contaminants, and ecotoxicity from the use of herbicides and insecticides. The other factors, harvest cycle, diversification of the cane income, size of the productive unit and *ejido* ownership, are related, according to Higgins *et al.* (2007); Pérez (2007) and Windle and Rolfe (2003), as effects at the micro level in the potential diversification, and they have to do with social, economic and even cultural conditions of the producers and their communities, the physical characteristics of the productive unit, the

**Cuadro 8. Continuación.
Table 8. Continuation.**

Municipio	Valor	Municipio	Valor	Municipio	Valor	Municipio	Valor	Municipio	Valor
Mazatan	0.843	Cuatla	0.743	Lerdo de Tejada	0.619	San Vicent Tancuayalab	0.511	Huatusco	0.304
Coatepec	0.837	Socoltenango	0.738	Tomatlán	0.614	Atzacán	0.510	Acapetahua	0.290
Ozuluama	0.836	Tepalcatepec	0.738	Teotitlán de Flores	0.611	Cosolapa	0.505	Huautla de Jimenez	0.283
Zapotlán el Grande	0.836	Tilapa	0.731	Villa Comaltitlán	0.609	Cunduacán	0.501	Misantla	0.268
Los Reyes	0.835	La Antigua	0.731	Xalapa	0.603	Hueyapan de Ocampo	0.500	San Rafael	0.268
San Martín Tixpalan	0.831	Comala	0.730	Ocampo	0.602	Tezonapa	0.496	Totutla	0.263
Villa Purificación	0.831	Tetecala	0.729	Tierra Blanca	0.600	Paso del Macho	0.483	Tancanhuitz	0.257
Ameca	0.830	Epatlan	0.727	Omealca	0.599	Tamasopo	0.479	Comapa	0.246
Xochitepec	0.830	Atzala	0.726	Tépic	0.599	Ixtaczoquitlan	0.464	Huautepec	0.245
Zacatepec Hidalgo	0.830	Teocelo	0.724	Compostela	0.598	Tlalaxtela	0.464	Tanlajas	0.233
Ursulo Galván	0.830	Axochiapan	0.722	La Huerra	0.594	Cosamalooapan	0.461	Alaquines	0.233
Tacambaro	0.830	Jilotepec	0.719	Tlajomulco de Zúñiga	0.593	Rayón	0.457	Totontepec	0.224

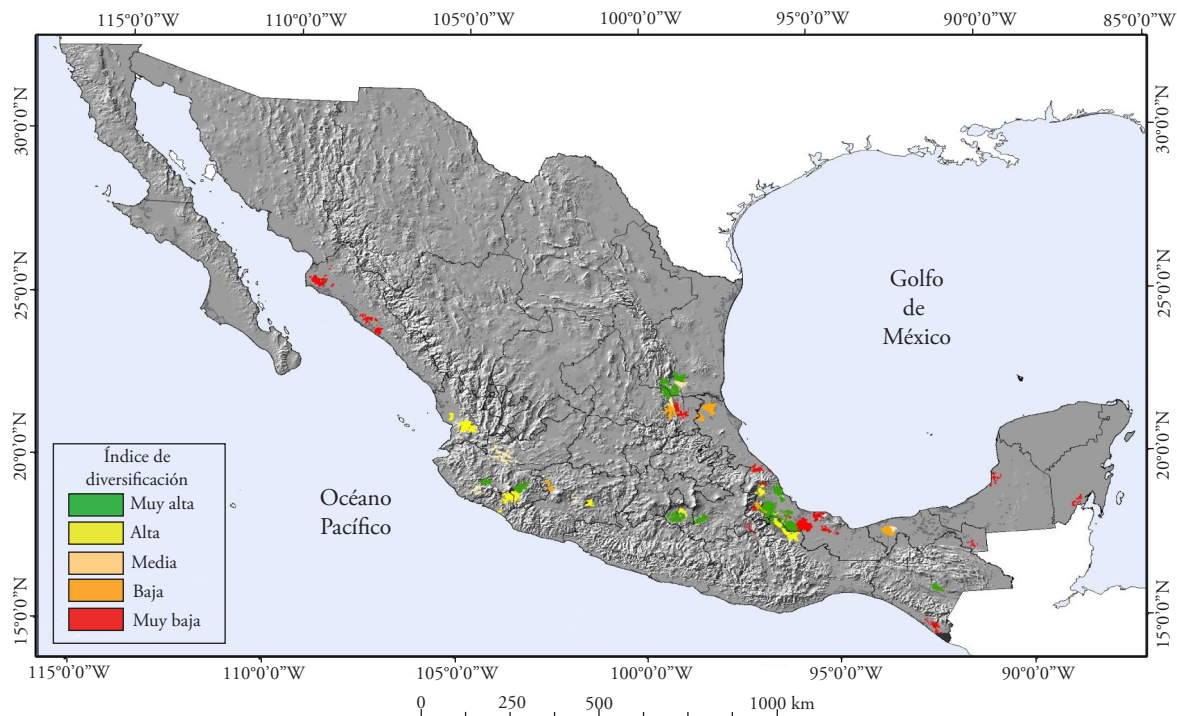


Figura 4. Ubicación espacial de las zonas cañeras de ingenios azucareros de México por nivel de capacidad para diversificar la producción base (azúcar estándar).

Figure 4. Spatial location of the sugar cane zones of sugar factories in México per level of capacity to diversify the base production (standard sugar).

principalmente en los estados de Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Norte de Veracruz y Morelos. En primer lugar esta capacidad permitiría que el productor continuara, potencialmente, con la entrega de caña al ingenio y, en segundo, participar con otras producciones alternativas, al tener excedentes de la materia prima (caña de azúcar) en cantidad y calidad.

En el resto de los municipios productores, pero con baja capacidad (99), se requieren acciones diferenciadas tecnológicas y socioeconómicas (desarrollo de variedades, eliminación paulatina de cosecha con quema de cañaverales, incremento de materia orgánica del suelo con compostas, compactación de superficies de aptitud agroecológica y ambientes productivos similares, riego, mecanización, sobre todo la cosecha, fertilizantes, gestión de plagas y los procesos gerenciales) que permitan en su caso, en primer lugar, incrementar la productividad cañera y, en segundo, establecer cultivos intercalados o en rotación locales, es decir, promover una cultura de desarrollo específico por sitio, que contribuya a acercar la producción real de cada unidad productiva a su potencial.

Del total de la agroindustria azucarera mexicana, solamente ocho empresas presentan capacidad

inputs used, the non-agricultural sources of income, infrastructure, access to services, such as education, training, extension and technical assistance, as well as the specific attributes of the diversification project in process or potential to develop under their best agroecologic and socioeconomic conditions.

When weighing and normalizing each one of the levels of the criterion or factor in a scale of 0 to 1, according to the values in Table 5 and their hierarchical structure, the evaluation instrument that allowed grading each conventional indicator per sugar factory (57) and producing municipality (220) was obtained, in their potential capacity or ability (high, medium, low and very low) for diversification projects (Tables 6, 7, and 8), and to obtain a new database that when being incorporated into the SIG generated an exit map for its spatial location per ability (Figures 4 and 5). This instrument can determine the dynamics of the capacity of sugar factories and municipalities to diversify when modifying the results or indicators in each sugar cane harvest, stemming from variables that are recognized at the international level.

The sugar factories of high and medium potentiality (24), which represent 42 % nationally,

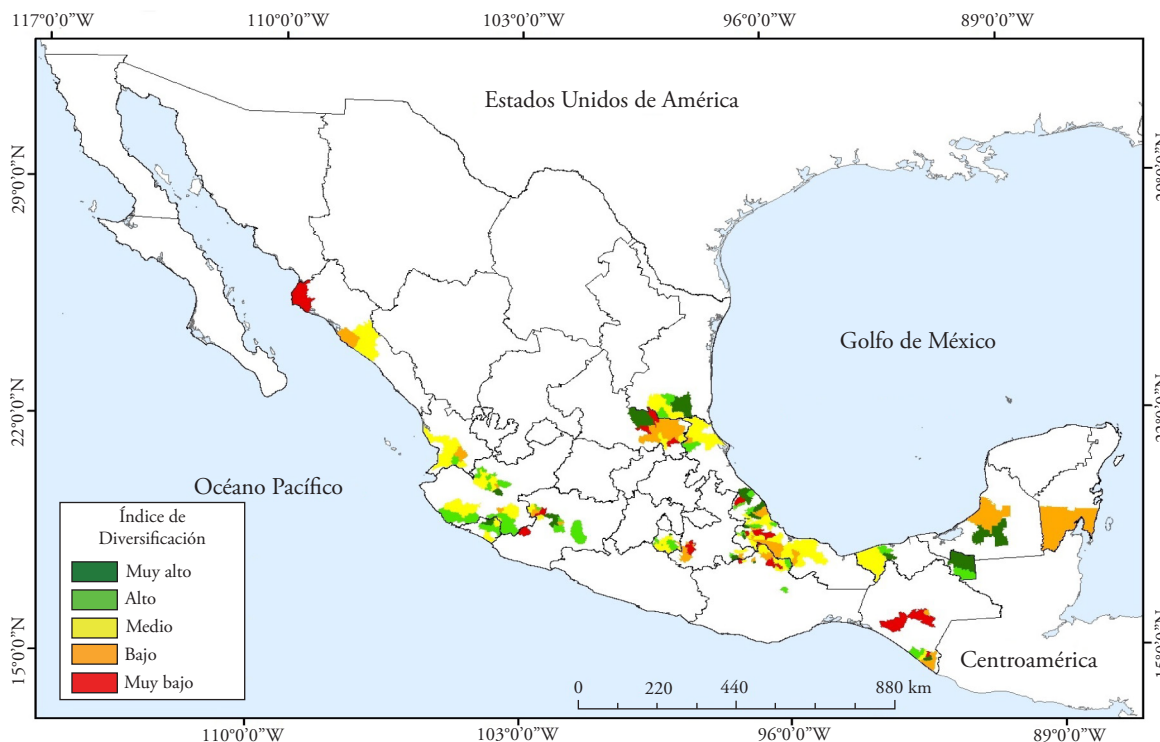


Figura 5. Ubicación espacial de municipios productores de caña de azúcar de México por nivel de capacidad para diversificar la producción base (caña de azúcar para ingenios azucareros).

Figure 5. Spatial location of sugar cane producing municipalities in México per level of capacity to diversify the base production (sugar cane for sugar factories).

para diversificarse y cuentan a su vez con un campo productivo (Atencingo, La Gloria, Pujilic, Melchor Ocampo, San Miguel del Naranjo, Tamazula, Aaron Sáenz y Emiliano Zapata), además de que podrían llevar a cabo acciones diversificativas de forma inmediata, por los motivos ya expuestos en este trabajo.

CONCLUSIONES

El marco metodológico PAJ aplicado a los subsistemas campo y fábrica de la agroindustria azucarera nacional permitió comprobar la hipótesis del trabajo, al generarse una medida o parámetro síntesis (índice de diversificación) a través del agrupamiento de indicadores o criterios convencionales y conocidos; asimismo, el parámetro que surge no es una simple agregación, sino que se determinó para cada ingenio y municipio al ponderar o calificar a cada uno de ellos de acuerdo con la importancia relativa de los mismos obtenida al resolver la matriz de Saaty con $IC < 0.1$.

Los resultados establecieron que 42 % de los ingenios (24) tienen capacidad de media a alta para diversificar su producción básica (azúcar estándar)

are grouped mainly in 100 % of the sugar factories of Oaxaca (3), Morelos (2), Nayarit (2) and Colima (1); 50 % in Puebla and 41 % in Veracruz (9). The other 58 % (33) do not have that capacity, whether because of inefficiency problems, obsolescence or inexperience in diversification projects and they are characterized by having a mono-productive structure.

The producing municipalities that present high and medium potentiality (116) are located primarily in the states of Sinaloa, Jalisco, Michoacán, North of Veracruz and Morelos. In the first place, this capacity allowed for the producer to continue, potentially, with the delivery of sugar cane to the factory and, in the second, to participate with other alternative production, when having surplus of the raw material (sugar cane) in quantity and quality.

In the other producing municipalities, although with low capacity (99), differentiated technological and socioeconomic actions are required (variety development, gradual elimination of harvest with sugar cane field burnings, increase of organic matter in the soil with compost, compacting surfaces with agroecologic ability and similar productive

hacia otros derivados de la caña, mientras que el 58 % (33) restante no tiene esa capacidad, debido a problemas de eficiencia, obsolescencia o nula experiencia en proyectos de diversificación, y se caracterizan por tener una estructura monoprodutiva (azúcar). Los factores: rendimiento de fábrica (%) y número de bienes producidos de la caña de azúcar en el ingenio, basados en subproductos como cachazas, bagazo, melazas o vinazas, o experiencia en proyectos de diversificación relacionada, explican 66 % de dicha capacidad o potencialidad.

Para los municipios cañeros, con una media nacional de 0.634, 114 (52.3 %) presentan capacidad de media a alta para diversificar la mono producción cañera y el resto, 104 (47.7 %), baja o muy baja. Los factores: rendimiento de campo y agroindustrial, acceso a crédito y disponibilidad de riego, explican 76 % de esa capacidad. Por lo tanto, para la diversificación de la agroindustria es necesario generar conocimiento nacional de los procesos tecnológicos de transformación de materia prima, balance energético, producción de etanol y cogeneración. Asimismo, de los agroecosistemas regionales cañeros para incrementar la productividad y el cluster agroindustrial, hoy llamado biorefinería, para optimizar la logística de transporte de materia prima, insumos y materiales y la gestión del cultivo, su diversidad de prácticas agrícolas, los propósitos de producción y la asociación de factores que determinan el rendimiento (limitantes ecológicos, económicos, sociales y político-culturales), que generarán problemas multidimensionales por el cambio de usos del suelo para expandir áreas cañeras y la gestión del agua, pero considerando las condiciones locales y regionales y escenarios de cambio climático.

LITERATURA CITADA

- Achabou M. S. Tozanli. 2009. The institutional environment in the strategic decision of the emerging companies: the case of the Algerian sugar industry. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* Vol. 16. No. 5-6. pp: 139-148.
- Aguilar-Rivera N., D. A. Rodríguez L., V. Enríquez R., A. Castillo M. A. Herrera S. 2012. The Mexican Sugarcane Industry: Overview, Constraints, Current Status and Long-Term Trends. *Sugar Tech.* Vol. 14. No. 3. pp: 207-222.
- Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2012. A methodological approach to sugar mill diversification and conversion. *Ingeniería e Investigación.* Vol. 32, No. 2, pp. 23-27.
- Aguilar R. N. 2012. Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. *Convergencia Revista de ciencias sociales.* Vol. 19. No. 59. pp: 187-213.

environments, irrigation, mechanization, particularly the harvest, fertilizers, plague management, and management processes) which allow in their case, firstly to increase sugar cane productivity and, secondly, to establish local interspersed crops or in rotation, that is, to promote a culture of specific development per site that contributes to bring the actual production of each productive unit closer to its potential.

Of the whole Mexican sugar agroindustry, only eight enterprises present the capacity to diversify and also have a productive field (Atencingo, La Gloria, Pujilic, Melchor Ocampo, San Miguel del Naranjo, Tamazula, Aaron Sáenz and Emiliano Zapata), in addition to being able to perform diversifying actions immediately, for the reasons already exposed in this work.

CONCLUSIONS

The AHP methodological framework applied to the field sub-systems and factories of the national sugar agroindustry allowed testing the working hypothesis of the study, when generating a measurement or synthesis parameter (diversification index) through the grouping of conventional and known indicators or criteria; also, the parameter that emerges is not a simple aggregation, but rather it was determined for each sugar factory and municipality to weigh or qualify each one of them based on their relative importance obtained when resolving the Saaty matrix with $IC < 0.1$.

The results established that 42 % of the sugar factories (24) have medium to high capacity to diversify their basic production (standard sugar) towards other sugar cane byproducts, while the other 58 % (33) does not have this capacity, due to problems of efficiency, obsolescence or null experience in diversification projects, and are characterized for having a mono-productive structure (sugar). The factors: factory yield (%) and number of goods produced from sugar cane in the factory, based on sub-products such as sludge, pulp, molasses or wine, or experience in related diversification projects, explain 66 % of this capacity or potentiality.

For the sugar cane municipalities, with a national mean of 0.634, 114 (52.3 %) present medium to high capacity to diversify the mono production of sugar cane and the rest, 104 (47.7 %), low or very low. The factors: field and agroindustrial yield, access to credit and availability of irrigation, explain 76 %

- Ansoff H. 1965. Strategies for Diversification. *Harvard Business Review*. Vol. 35. No. 5. pp: 113-124.
- Ahumada R. M. 2009. Diagnostico agro-agroindustrial de la caña de azúcar en México. Memorias XXXII Convención de la asociación de técnicos azucareros de México (ATAM). Córdoba Veracruz 27-28 Agosto 2009.
- Alonso Pippo, W. 2006. Agro-industry sugarcane residues disposal: The trends of their conversion into energy carriers in Cuba. *Waste Management* Vol. 27. No. 7. pp: 869-885.
- Birch R. 2007. Metabolic engineering in sugarcane: assisting the transition to a bio-based economy. Chapter 11. Botany Department, School of Integrative Biology, The University of Queensland, Brisbane 4072 Australia R. Verpoorte c Springer et al. (eds), Applications of Plant Metabolic Engineering. pp: 249-281.
- CNIAA (Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y alcoholera). 2013. Manual Azucarero Mexicano Edición 57. 491 p.
- CNPR (Unión Nacional de Cañeros A.C.). 2014. Estadísticas de la agroindustria azucarera. En: <http://www.caneros.org.mx/principal.html>.
- Contreras A. M., E. Rosa, M. Pérez, H. Van Langenhove, and J. Dewulf. 2009. Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. *Journal of Cleaner Production* Vol.17. pp: 772-779.
- 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, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Vol.41. pp: 62-80.
- Eakin H., L. Bojorquez-Tapia, R. Monterde, E. Castellanos, and J. Haggar 2011. Adaptive Capacity and Social-Environmental Change: Theoretical and Operational Modeling of Smallholder Coffee Systems Response in Mesoamerican Pacific Rim. *Environmental Management*. Vol.47. No.3. pp: 352-367.
- Ellis F. 2000. The Determinants of Rural Livelihood Diversification in Developing Countries. *Journal of Agricultural Economics*- Vol. 51, No. 2 pp: 289-302.
- Gálvez T. L. O. 1990. La industria de los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA MINAZ. Editorial Científico Técnica. La Habana Cuba. 576 p.
- GEPLACEA. 1990. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Instituto de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Serie diversificación. 2ª edición. GEPLACEA-PNUD. México, D. F. 447 p.
- Gerritsen, P. R. 2008. Comparación de cuatro sistemas productivos en el ejido de La Ciénega, costa sur de Jalisco. *Investigaciones geográficas*. Vol.65. pp: 68-81.
- Gómez-Limón J. A., and Sanchez-Fernandez G. 2010. Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*. Vol. 69. pp: 1062-1075.
- Gómez-Merino, F.C., Trejo-Téllez, L. I., and Senties-Herrera, H.E. 2014. Sugarcane as a Novel Biofactory: Potentialities and Challenges. *In: R. Guevara-González and I. Torres-Pacheco (eds). Biosystems Engineering: Biofactories for Food Production in the Century XXI*. Springer, Cham, Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-319-03880-3_5. pp: 129-149.
- Higgins A., P. Thorburn, A. Archer, and E. Jakku. 2007. Opportunities for value chain research in sugar industries. *Agricultural Systems* Vol. 94 pp: 611-621.
- of this capacity. Therefore, for the diversification of the agroindustry it is necessary to generate national knowledge for the technological processes of transformation of raw materials, energetic balance, ethanol production and cogeneration. Also, of the regional sugar cane agroecosystems to increase the productivity and the agroindustrial cluster, called today biorefinery, to optimize the transportation logistics of the raw material, inputs and materials, and the management of the crop, its diversity of agricultural practices, the purposes of the production and the association of the factors that determine the yield (ecologic, economic, social and political-cultural limitations), which will generate multidimensional problems as a result of the change in land uses to expand sugar cane areas and water management, although taking into consideration the local and regional conditions and scenarios of climate change.

- End of the English version -

- Huerta-Riveros, P. 2004. La Diversificación desde la Teoría de Recursos y Capacidades. Cuadernos de Estudios Empresariales No 14. pp: 87-104.
- Huerta-Riveros, P. 2009. Construcción y aplicación de una forma de medida de la diversificación empresarial. *Revista chilena de ingeniería*. Vol. 17 No. 1. pp: 42-57.
- INFOCAÑA 2014. Estadísticas zafrá 2013/2014 <http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/entrada/menu.php>
- International Sugar Organization 2005. An International Survey of Sugar Crop Yields and Prices Paid for Sugar Cane and Beet. Market evaluation consumption and Mecas (05)05 Statistics Committee. 49 p.
- Kumar, R., and S. S. Hasan. 2011. Trend of sugar recovery and sugar losses in factories due to low recovery in a crushing period of sugarcane - estimation and analysis. *Indian Journal of Sugarcane Technology* Vol. 26. No.2. pp: 43-52.
- Martin, J.D., and Sayrak, A. 2003. Corporate Diversification and Shareholder Value: A Survey of Recent Literature. *Journal of Corporate Finance* Vol. 9. No.1. pp: 37-57.
- Mendoza G.A., and H. Martins. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*. Vol. 230. pp: 1-22
- Mirkov, T. E., Damaj M.B., Gonzalez J., Molina J., White S.G., and Nikolov Z. 2006. Sugarcane as a biofactory for the economic production of low to medium value proteins: reality or wishful thinking? In *Tropical Crop Biotechnology Conference*. Cairns. (Ed. JM Manners) (CSIRO). 21 p.
- Nagesha, N., and Balachandra, P. 2006. Barriers to energy efficiency in small industry clusters: Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process, *Energy*, Vol. 31. pp: 1969-1983.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A. and Giovannini, E. (eds) 2005. Handbook on constructing

- composite indicators: methodology and user guide. OECD Statistics Working Paper. OECD, Paris. <http://www.oecd.org/dataoecd/37/42/42495745.pdf>
- Oliveira, D. B. B., Rodrigues, J. P., da Silva, L. F., and Oliveira, P. T. S. 2012. Multi-criteria analysis in the strategic environmental assessment of the sugar and alcohol sector. *Acta Scientiarum: Technology*. Vol. 34. No. 3. pp: 303-311.
- Olivério J.L., V.B. Carmo, and M.A. Gurgel. 2010. The DSM—Dedini sustainable mill: a new concept in designing complete sugarcane mills. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 27. <http://www.issct.org/pdf/proceedings/2010/2010%20Oliverio,%20THE%20DSM%20-%20DEDINI%20SUSTAINABLE%20MILL%20A%20NEW%20CONCEPT%20IN%20DESIGNING%20COMPLETE%20SUGARCANE%20MILL.pdf> (consultado 10 julio 2014)
- Osorio, B. D. 2009. Análisis teórico de la relación entre diversificación corporativa y resultados empresariales. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*. Vol. 15. No. 2. pp: 105-126.
- Paturau, M. J. 1989. By-products of the cane sugar industry can introduction to their industrialization. 3ª. Edition. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York City, N. Y. 436 p.
- Pérez, Z. A. 2007. Tenencia de la tierra y agroindustria azucarera. Edit. Porrúa, México 214 p.
- Pope, R. D., and R. Prescott. 1980. Diversification in relation to farm size and other socio- economic characteristics. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 62 No.3 pp: 554-559.
- Ramanujam, V. 1989. Research on Corporate Diversification: A Synthesis. *Strategic Management Journal*. Vol. 10. pp: 523-51.
- Renouf, M. 2011. Life cycle assessment of Australian sugarcane products with a focus on cane processing. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol.16 pp: 125–137.
- Renouf, M. A., R. J. Pagan, and M. K. Wegener. 2013. Bio-production from Australian sugarcane: an environmental investigation of product diversification in an agro-industry. *Journal of Cleaner Production* Vol. 39. pp: 87–96.
- Rivera, N. A. 2013. Análisis de productividad de etanol de caña de azúcar en ingenios azucareros de México. *Ciencia Ergo Sum*. Vol. 20. No.1. pp: 17-28.
- Roebeling, D.M. Smith, and M.E. Van Grieken. 2006. Exploring environmental-economic benefits from agri-industrial diversification in the sugar industry: an integrated land use and value chain approach. 26th Conference of the International Association of Agricultural Economists (IAAE), Gold Coast, Australia, 12-18 August, 2006. 16 p.
- Rumelt R. P. 1982. Diversification Strategy and Profitability. *Strategic Management Journal*, Vol. 3, No. 4. pp: 359-369.
- Saaty, T.L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, Vol. 48 pp: 9-26.
- Senties-Herrera H. E., F. C. Gómez-Merino, A. Valdez-Balero, H. V. Silva-Rojas, and L. I. Trejo-Téllez. 2014. The Agro-Industrial Sugarcane System in Mexico: Current Status, Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural Science* Vol 6. No. 27-54.
- Siazúcar 2014. Padrón de Productores de Caña Sistema Nacional de Información de la Agroindustria Azucarera integrado http://siazucar.siap.gob.mx/informacion.php?cv_cl=6&cv_in=30
- Solomon S. 2011. Sugarcane By-Products Based Industries in India. *Sugar Tech*. Vol. 13. No. 4. pp: 408–416.
- Tienwong Kanlaya, Songkot, Dasananda,Chalie, Navanugraha 2009. Integration of land evaluation and the analytical hierarchical process method for energy crops in Kanchanaburi, Thailand. *Science Asia*. Vol. 35 pp: 170–177.
- Toledo R., A. Engler, and V. Ahumada. 2011. Evaluation of risk factors in agriculture: an application of the analytical hierarchical process (AHP) methodology. *Chilean journal of agricultural research*. Vol.71. No. 1. pp: 114-121.
- Vlosky R. P., F. X. Aguilar, and Qinglin Wu. 2005. Demographic profile and spatial analysis of sugarcane growers in Louisiana. *Journal American Society Sugar Cane Technologists*. Vol. 25. pp: 157-172.
- Waclawovsky, A., P. Sato, C. Lembke, P. Moore, and G. M.Souza. 2010. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal*, Vol. 8. pp: 263–276.
- Wijesinghe B., R. Mereddy, and R. Stanley. 2010. Increased profitability through product diversification and improved sugar quality. *Proc Aust Soc Sugar Cane Technol* Vol 32. pp: 610-620.
- Windle, J., and Rolfe J. 2003. Diversification in the sugar industry: the growers' perspective in central Queensland, Australia *Proceedings of 14th International Farm Management Congress: Farming at the edge*, Burswood Convention Centre, Perth, Western Australia, August, <http://www.ifmaonline.org/pdf/congress/Windle%20Rolfe.pdf>, pp: 1-11.