

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

COMPETITIVIDAD DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA DE LA HUASTECA MÉXICO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

M.C. NOÉ AGUILAR RIVERA

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

ASESORES:

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

DR. JAVIER FORTANELLI MARTÍNEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES

COMPETITIVIDAD DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA DE LA
HUASTECA MÉXICO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

M.C. NOÉ AGUILAR RIVERA

COMITÉ TUTELAR:

DIRECTOR: DRA. MARIA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

ASESOR: DR. CARLOS CONTRERAS SERVIN

ASESOR: DR. JAVIER FORTANELLI MARTINEZ

SINODALES:

PRESIDENTE: DRA. MARIA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

SECRETARIO: DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

VOCAL 1: DR. JAVIER FORTANELLI MARTÍNEZ

VOCAL 2: DR. ALFREDO ÁVILA GALARZA

VOCAL 3: DR. FRANCISCO JAVIER PEÑA DE PAZ

San Luis Potosí, S.L.P.

Julio de 2011

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACyT)

CON FINANCIAMIENTO DE:

Laboratorio Nacional de Geoprosesamiento de Información Fitosanitaria (LanGIF).

A TRAVÉS DE LOS PROYECTOS DENOMINADOS:

"Diseño e implementación de una metodología para el seguimiento fitosanitario de los principales sistemas producto agrícola mediante técnicas de percepción remota"

"Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF)"

AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

No. 209257

A LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA Y AL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DEL PROFESORADO (PROMEP)

Beca PROMEP UV-444 para Posgrados de Alta Calidad

EL DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS

DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)

INDICE

Resumen	6
Abstract	6
Introducción	7
Objetivo General	11
Objetivos específicos	11
Hipótesis	12
1. Competitividad de la Agroindustria Azucarera Mexicana	
1.1. Introducción	14
1.2. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	21
1.3. Agroindustria y Competitividad	24
1.3.1. El concepto de Agroindustria (AI)	25
1.4. El concepto de Competitividad	28
1.5. Factores determinantes de la competitividad. El diamante de Porter	30
1.6. Competitividad de Agroindustria de la Caña de Azúcar de México en el marco de la cuota de mercado	39
1.6.1. Exportaciones de los derivados de la caña de azúcar	39
1.6.2. Importaciones de derivados de la caña de azúcar	45
1.7. Análisis de competitividad de los factores productivos la agroindustria de la caña de azúcar de México	53
1.8. Análisis del diamante de competitividad de Porter de la agroindustria de la caña de azúcar de México	66
1.9. Sistema agroindustrial caña de azúcar de México	82
1.9.1. Productividad de la agroindustria de la caña de azúcar	91
1.9.2. Subsistema campo	98
1.9.3. Variedades de caña de azúcar	107
1.9.4. Fertilización	111
1.9.5. Tenencia de la tierra	112
1.10. Subsistema Fábrica	114
1.10.1. Extracción y pérdidas de sacarosa	119
1.11. Competitividad de los ingenios Mexicanos	125
1.12. Conclusiones	137
1.13. Bibliografía	138
2. Análisis de factores de competitividad en la zona cañera de la Huasteca México por técnicas geomáticas	
2.1. Introducción	146
2.2. Factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	153
2.2.1. Calendario de actividades de campo	158
2.2.2. Factores limitantes climáticos y edafológicos en el rendimiento de caña de azúcar	163
2.2.3. Factores climáticos	166
2.2.4. Factores edafológicos	170
2.3. Justificación del estudio	172
2.4. Fundamentos bioquímicos, fisiológicos y anatómicos de las propiedades	175

de reflectancia de cultivos agrícolas en percepción remota	
2.5. Modelos agrícolas en percepción remota	184
2.6. Identificación del área cañera en la Huasteca Potosina con imágenes Landsat 7 ETM+	195
2.7. Aptitud edafológica y agroclimática espectral del cultivo de caña de azúcar en la Huasteca Potosina	213
2.8. Evaluación multicriterio (EMC) de la zona cañera de la Huasteca Potosina	219
2.9. Zonificación Edafológica	229
2.10. Productividad de la zona cañera de la Huasteca Potosina por Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)	241
2.11. Identificación, mapeo y evaluación del cultivo de caña de azúcar en la Huasteca Potosina con imágenes SPOT HVR	249
2.12. Firmas espectrales y clasificación supervisada	256
2.13. Análisis de temporalidad de la zafra azucarera de la Huasteca Potosina	268
2.14. Calidad de la caña de azúcar en la Huasteca Potosina	317
2.15. Conclusiones	329
2.16. Bibliografía	329
3. Análisis de la Capacidad de Diversificación de la Agroindustria Azucarera por evaluación multicriterio (EMC) en un ambiente SIG	
3.1. Introducción	350
3.2. Tipologías de diversificación	351
3.3. Diversificación agrícola	354
3.4. Sectores agroindustriales diversificados	357
3.4.1. Agroindustria del maíz	358
3.4.2. Refinado o molienda de maíz	362
3.4.3. Agroindustria de la Soya	363
3.4.4. Molienda de soya	365
3.4.5. Agroindustria de maíz y soya en Estados Unidos	367
3.4.6. El sistema agroindustrial caña de azúcar de Brasil	371
3.4.7. Otros modelos de diversificación productiva	377
3.5. Diversificación de la industria azucarera de México	383
3.6. Justificación del estudio	406
3.7. Aproximación metodológica para el análisis de la diversificación de zonas cañeras	419
3.8. Análisis de Municipios y Estados productores	422
3.9. Región Huasteca Potosina	434
3.10. Análisis de la capacidad para diversificar unidades productivas de la zona de abasto cañero del ingenio San Miguel del Naranjo	448
3.10.1. Diversificación en unidades productivas cañeras	448
3.10.2. Ingenio San Miguel El Naranjo	451
3.10.3. Análisis de la capacidad de diversificación	457
3.11. Diversificación en Ingenios azucareros	489
3.12. Conclusiones	497
3.13. Bibliografía	498
4. Conclusiones	518

Resumen

El azúcar ha sido el principal y único producto comercial obtenido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). La revisión de la literatura sobre el azúcar es amplia y extensa. Sin embargo, la temática de competitividad de la agroindustria azucarera, especialmente en México es poco frecuente. La producción de azúcar depende de tres elementos fundamentales: a) la cantidad y calidad de la caña industrializada, b) el rendimiento en fábrica, y c) la capacidad instalada y aprovechada de los ingenios azucareros. Sin embargo, el análisis de los factores productivos que inciden en su competitividad se ha llevado a cabo empleando solo los tres indicadores individuales anteriores sin considerar la distribución espacial y temporal y la aptitud agroecológica del cultivo en las regiones cañeras, los factores internos a los propios ingenios que determinan su competitividad, productividad, capacidad para diversificarse, rentabilidad y otros. El presente trabajo evaluó los factores de competitividad de los ingenios azucareros públicos y privados, regiones cañeras, y un estudio de caso en la Huasteca mediante el uso de diversas metodologías de análisis del sistema agroindustrial caña de azúcar, Benchmarking y diamante de Porter, análisis espacial, percepción remota (PR), sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG) y evaluación multicriterio (AHP) que establecieron la relación temporal entre todos los factores de producción de la agroindustria azucarera para la toma de decisiones técnicas y administrativas en el corto plazo. Los resultados indican que las zonas cañeras y en especial de la Huasteca se localizan óptimamente para obtener altos rendimientos, sin embargo, estos son marginales. Cada zona tiene una combinación similar de potencial y limitaciones para el desarrollo del cultivo y determinan el foco de atención para futuras recomendaciones en las zonas cañeras. Estas áreas dentro de la Huasteca Potosina requieren sistemáticas acciones de planeación en la mejor manera, arreglos institucionales e iniciativas gubernamentales para incrementar su rentabilidad y productividad, principalmente en el sector campo, mediante el uso de nuevos sistemas de manejo del cultivo y el ambiente productivo para optimizar recursos e incrementar ganancias. Para la diversificación de la agroindustria azucarera se concluye que la ausencia de un modelo nacional y regional, la productividad de la unidad productiva (calidad y cantidad de materia prima, tenencia de la tierra, tamaño de la unidad productiva), falta de conocimiento e información constituyen el principal obstáculo para una agricultura diversificada de caña de azúcar (sector agrícola) y biofabrica (sector industrial) con producción eficiente y sostenible

Abstract

Sugar has been the major commercial product from sugarcane (*Saccharum officinarum*). The literature review on sugar is broad and extensive. However, the competitiveness of sugar industry, especially in Mexico is rare. Sugar production in Mexico depends on three elements: a) the amount and quality of the industrialized sugar cane, b) sugar mill yield, and c) the installed capacity and crushing **capacity** in sugar mills. However, the analysis of production factors affecting their

competitiveness has been carried out using only the three previous individual indicators without considering the spatial and temporal distribution in each and agro ecological aptitude of sugarcane regions, the internal factors the sugar mills themselves that determine their competitiveness, productivity, diversification, profitability, and others. This paper evaluated the productivity and of public and private sugar mills, sugarcane regions, and a case study in the Huasteca using different methodologies for analyzing sugarcane agribusiness system, benchmarking and Porter's diamond methodologies and spatial analysis (remote sensing, GPS, SIG and multicriteria evaluation AHP) which established the temporal relationship between all factors of production of the sugar industry for technical and administrative decisions. The results indicate that the sugarcane zone specialty La Huasteca are precisely located for good crop yields, however were detecting marginal yields. Each zone has a similar combination of constraints and potentials for land use and serves as a focus for the targeting of recommendations designed to improve the existing sugarcane land use situation. The sugarcane areas at La Huasteca Potosina requires a systematic effort towards the planning of land use activities in the most appropriate way, apart from several other institutional and policy program initiatives to improvement the profitably and productivity mainly on the sugarcane farming business performance to improve with the use and knowledge-based technical management systems and environment as a new agricultural system concept with the goals of optimizing returns in sugarcane production. To Diversification It was also found that the absence of a national model and regional, farm productivity (raw material, land tenure, farm size), lack of knowledge and information were the major constraint towards sugarcane agriculture (crop sector), biofabric (industrial sector) efficient and sustainable production

Introducción

La caña de azúcar fue introducida en México desde el siglo XVI, actualmente la superficie cultivada en el país supera las 700 mil hectáreas. Desde hace varios años México se ubica entre los primeros diez países productores y consumidores de azúcar en el mundo (alrededor del 3.5% del total producido a mundial, 5.8 millones de toneladas anuales)

La agroindustria azucarera y la producción de caña de azúcar como materia prima, son vitales para mantener la actividad económica de un amplio sector productivo de la población mexicana, tiene alto impacto en más de 227 municipios donde habitan 12 millones de personas especialmente en el medio rural ya que genera directamente más de 400,000 empleos directos (165 mil productores de caña, 176 mil cortadores de caña y trabajadores de campo, 28 mil transportistas, 23 mil obreros sindicalizados, 16 mil personas en labores administrativas) y beneficios directos a más de 2.2 millones de personas. Para la población mexicana el azúcar es un bien básico, el nivel de consumo per-cápita es de los más grandes en el mundo durante la última década (47 Kg.) y dentro de la dieta diaria del mexicano, contribuye con el 17% de las calorías que consumen diariamente las personas en

diversos productos (refrescos y bebidas, jugos, néctares, galletas, repostería, conservas y enlatados, productos lácteos, bebidas alcohólicas etc.)

El 37.1% del total del consumo nacional de azúcar se utiliza granulada (principalmente tipo estándar o morena) de forma directa en los alimentos y bebidas. Por su parte, la industria embotelladora de refrescos y de bebidas de frutas y néctares consume el 36.4% del total nacional. Con relativamente menor participación se encuentra la industria de confitería, dulces y lácteos que demanda el 9.6 % del consumo.

El valor de la producción de azúcar supera los 3 mil millones de dólares anuales, representa el 0.5% del PIB Nacional, 2.5 % del PIB Manufacturero, 11.6% del valor del sector primario y alrededor del 12 % del producto generado por el sector de la industria Alimentaria. Así la agroindustria debería tener un efecto multiplicador en el empleo y en el ingreso de la población, y contribuir a la estabilidad social de la población y al arraigo de las personas en sus lugares de origen, promover la creación y mejoras de la infraestructura de apoyo a la producción (camino, puentes, presas e infraestructura hidráulica, servicios de salud, educación, técnicos y venta de insumos, etc.). Sin embargo, no es una agroindustria que genera desarrollo regional sostenible y divisas por la exportación de azúcar, al no ser un sector superavitario y gran exportador y al contrario, México es una región deficitaria con producción y productividad a la baja (principalmente en el campo cañero en t. caña/ha y azúcar/ha), así como la calidad de la caña y la eficiencia en la extracción y recuperación de sacarosa en los ingenios, con importación creciente de azúcar de tipo refinado y blanco y alta tasa de adopción de Jarabes de Maíz de Alta Fructosa (JMAF o HFCS) y otros edulcorantes (Aguilar *et al.*, 2010, 2009).

En este sentido, en los últimos años ha existido una considerable atención tanto nacional como internacional acerca de la sostenibilidad y productividad de la agroindustria azucarera y otras empresas o producciones derivadas de la caña de azúcar, y estos paradigmas se han incorporado a nuevos temas vinculados con los intereses, corrientes y controversias sobre el futuro de la agroindustria azucarera, como productora exclusiva de un alimento básico, pero sin abandonar los temas y preocupaciones tradicionales que surgen acerca de las prácticas gerenciales de producción de la caña de azúcar que se enfocan casi exclusivamente a la productividad; y los efectos de múltiples factores de carácter exógeno o endógeno al sistema o su territorialidad.

Más recientemente, las críticas y propuestas acerca de la sostenibilidad ambiental y los elementos para alcanzar la competitividad (productividad, diversificación, innovaciones, gestión etc.) aun presentan muchas interrogantes, y en particular, han recibido una publicidad sustancial, debido a que la expansión de la producción de azúcar es una extensión de una actividad económica tradicional en una agroindustria, que generalmente no ofrece desarrollo de empresas colaterales y acciones diversificativas del uso de la caña e innovaciones; es decir, su explicación y comprensión requería de instrumentos teóricos y prácticos que le

permitieran reconocer y analizar las condiciones sobre las cuales el análisis, desarrollo y transformación de las regiones cañeras podían llevarse a cabo, pero siguen adecuándose a un paradigma de evolución lenta y paulatina centrados en el análisis económico tradicional más que a acciones concretas en continua formación y transformación para evitar crear mayores distorsiones en la descripción, el análisis y el estudio de los fenómenos de la agroindustria, con el objetivo de obtener e integrar nuevos conocimientos, características e investigación de sus interrelaciones espaciales y su predicción como modelo temporal-espacial de la realidad.

García Chávez (2009) concluyo que la verdadera competitividad azucarera se mide por la productividad y para el objetivo de ser competitivo es necesario identificar las áreas de oportunidad en campo, ingenios y comercialización considerando una política diferenciada según cada región cañera y cada ingenio y el uso de factores de producción inductores y promotores de productividad así como la renovación del campo cañero, minimización del impacto ambiental, derivado de la producción de caña de azúcar y la composición y volumen de la generación de subproductos (residuos de cosecha, jugos, bagazo, melaza, cachaza, bagacillo, cenizas, etc.), modernización de los ingenios azucareros, el redimensionamiento y diversificación del aprovechamiento de la caña de azúcar coproductos y subproductos, el abastecimiento de las necesidades locales domésticas e industriales y exportando más valor agregado sin depender exclusivamente del mercado interno y el de EE.UU. para la exportación dentro del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), para los actuales limitados excedentes de azúcar que se presentan dependiendo si las condiciones naturales climáticas limitantes son favorables; y también se hace necesario normar los procesos y evaluar el ciclo de vida de los recursos por su relación con la sostenibilidad ambiental social y económica y evitar así los riesgos potenciales del aumento del precio de azúcar en México y la pérdida de competitividad internacional.

Entonces, la necesidad de transformar la agroindustria azucarera constituye una prioridad, el reto más importante es hacer de la caña de azúcar una fuente para solucionar tres problemas esenciales: la alimentación, la energía y el medio ambiente. Se concibe entonces la explotación de la caña a partir de un claro y definido concepto: *“Lograr su procesamiento óptimo para obtener, además de azúcar de distintas variedades, mayor cantidad de caña de azúcar, subproductos y derivados”*. Sin embargo, este objetivo plantea varias interrogantes: *¿Cuales son los factores que limitan la productividad y la diversificación de la agroindustria azucarera en México? ¿Cuál es la condición competitiva de esta industria para crecer, diversificarse y mantenerse en el mercado?, ¿Qué cambios específicamente se requieren para que la agroindustria sea competitiva? ¿Cómo contrarrestar la disminución del precio del azúcar en el mercado internacional?, ¿Como diversificar los usos de la caña?, ¿Como incrementar el valor y la productividad de la agroindustria?, ¿De qué manera podemos incrementar el uso*

*del azúcar y de los subproductos y coproductos del proceso agroindustrial?
¿Cómo dar a estos un valor añadido?*

La competitividad de la agroindustria azucarera es un tema con muchas vertientes que tienen que ser consideradas para tener elementos de decisión suficientes. La problemática además involucra desde los contextos globales hasta los nacionales, regionales y locales.

Esto lleva a plantear que la agroindustria azucarera (en estados, municipios, zonas de abasto, predios y aun ingenios azucareros, plantas de derivados, comercialización y su base legal) es un sistema complejo, donde confluyen múltiples procesos temporales y espaciales. Ello obliga a plantear una estrategia de investigación para el establecimiento de estrategias de competitividad, productividad y diversificación que no pueden quedar limitada a la simple “suma” de los enfoques parciales de los distintos especialistas, y de la interpretación de la legislación cañera vigente (Ley de Desarrollo Sustentable de la caña de Azúcar, Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, Contrato ley de la agroindustria etc), sino que debe constituir una verdadera interpretación sistémica que dé lugar a un diagnóstico integrado donde la productividad de la caña de azúcar es un factor fundamental para la competitividad de la agroindustria, es decir, los problemas de la agroindustria azucarera son multicausales, multidisciplinarios, dinámicos, de complejidad tal que bordea frecuentemente los límites del caos y su evolución no es natural sino que debe ser dirigida a través de un proceso permanente de administración estratégica.

Por lo tanto, con los actuales métodos de análisis, no es posible entender sus partes y sus efectos y las soluciones nunca son óptimas y sus alcances no pueden ser comprendidos al ser abordados desde un solo campo sino que ha de estudiarse a través de la interacción de múltiples disciplinas dentro de las que destacan las ingenierías, biología, geografía, agronomía, economía, administración, gestión pública, educación ambiental, estudios culturales, participación social y la internacionalización que condiciona la creciente globalización del mundo, la gestión de la agroindustria azucarera y los elementos de la competitividad.

Actualmente, existen en la literatura numerosas aproximaciones para el análisis de la competitividad de países, empresas o sectores productivos. Sin embargo para la agroindustria azucarera nacional aún se observa gran desconocimiento del potencial de la caña de azúcar como recurso bioenergético y alimentario en el país; ausencia de mecanismos específicos de financiamiento para investigación y desarrollo en bioenergía, incremento de productividad y competitividad y no cuenta con un centro tecnológico especializado propio encargado de desarrollar, gestionar, integrar y articular las actividades de investigación, innovación, asistencia técnica, transferencia de tecnología e Información al sector productivo lo que genera un pobre o nulo desarrollo tecnológico en “áreas de frontera” como la producción de combustibles líquidos o gasificación de biomasa cañera, agricultura de precisión o manejo de sitio específico entre otros y aun los

tradicionales como la productividad y la autosuficiencia de azúcar son temas que deben debatirse ampliamente y es necesario evaluarlos cuidadosamente antes de establecer programas en gran escala como tentativa de solución a los problemas y perspectivas de crecimiento a largo plazo de la agroindustria

Así un paso fundamental para maximizar las oportunidades y las ventajas comparativas regionales, es dar seguimiento a los procedimientos de evaluación como instrumentos decisivos para la toma de decisiones y evitar la frecuente confusión terminológica y conceptual muchas veces implícita en los estudios sobre el tema cañero. Este trabajo de análisis consiste precisamente en calificar el nivel competitivo que tiene la agroindustria azucarera en el conjunto campo-fábrica-mercado (Subsector campo, Subsector fábrica, Industria del azúcar y mercado) a diferentes escalas

Objetivo General

Realizar un diagnóstico que permita formular, y evaluar la factibilidad de propuestas para incrementar la productividad y la diversificación productiva de la agroindustria azucarera en un marco de competitividad

Objetivos Específicos

1. Evaluar la productividad y competitividad de agroindustria azucarera nacional en el contexto de la economía mundo y de los ingenios azucareros públicos y privados mediante el uso de diversas metodologías de análisis del sistema agroindustrial caña de azúcar, Benchmarking y diamante de Porter entre otras para establecer la relación temporal y espacial entre todos los factores de producción para la toma de decisiones técnicas y administrativas en el corto y mediano plazo
2. Generar un sistema de información para establecer indicadores de competitividad y actualizar el inventario de las zonas de abasto de materia prima de los cuatro ingenios azucareros de la Huasteca Potosina (San Miguel del Naranjo, Alianza Popular, Plan de Ayala y Plan de San Luis) como análisis regional y representar espacialmente los parámetros productivos del cultivo de caña de azúcar mediante técnicas geomáticas (percepción remota, sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio) y zonificar las áreas cañeras por nivel de productividad incorporando variables edafoclimáticas
3. Determinar qué factores establecen la productividad y la potencialidad de las zonas cañeras, municipios e ingenios azucareros de la Huasteca para establecer proyectos de diversificación, como elemento de la competitividad, mediante el uso del método multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process) en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica.

Hipótesis

Los factores que limitan la agroindustria competitiva, productiva y diversificada de la caña de azúcar, no son solo tecnológicos, sino otros de mayor trascendencia en el ámbito ambiental, socioeconómico, industrial, político-organizativo, y comercial por lo tanto, por medio del Análisis Espacial y el uso del Análisis Multicriterio (EMC) dentro de un ambiente de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como instrumentos de gestión ambiental, es posible integrar las diferentes dimensiones y actores que inciden en la agroindustria azucarera en un solo marco de análisis (carácter holístico y relacional de las propuestas metodológicas) para dar una visión integral y de esta manera tomar decisiones.

El presente trabajo se estructura en tres capítulos dada la escala y la temporalidad del estudio (zafras 1999/2000 a 2008/2009). El capítulo I presenta en forma sintética el debate teórico y la evidencia empírica sobre los vínculos entre las tendencias internacionales y locales en la agroindustria, competitividad, productividad y gestión ambiental y su implicación para la agroindustria azucarera nacional en la economía mundo y al interior del país, regiones cañeras, e ingenios azucareros.

El capítulo II evaluó la zona cañera de la Huasteca Potosina, como estudio de caso, para generar nueva información sobre la competitividad del sector mediante metodologías de análisis espacial y la descripción de los procesos históricos, el medio físico, social y biótico, es decir, la distribución espacial de los aspectos socioeconómicos, físicos, biológicos y ambientales. Esta zona constituye una porción representativa y de gran significancia para el entendimiento de la problemática regional y sus perspectivas futuras, cuyo epicentro productivo es la agroindustria azucarera.

Seguidamente, el capítulo III analiza los marcos teóricos existentes sobre el concepto de diversificación, los estudios de caso de la capacidad para diversificar la agroindustria del maíz, soya y la azucarera, a escala nacional, regional y local respectivamente mediante el desarrollo de indicadores. El análisis para México, regiones cañeras, La Huasteca e ingenios azucareros se concentra en las características productivas del sector, las estrategias de las empresas en relación a la producción de azúcar, los recursos y capacidades de estas empresas y los factores que han limitado y los que en el corto plazo podrán propiciar o potenciar su desarrollo y sus implicaciones para el medio físico y biótico y en la productividad del campo cañero, la producción de azúcar y la generación de subproductos.

Los resultados del estudio indican que la competitividad en general es poco satisfactoria, existen importantes brechas entre los participantes de la industria; por ejemplo entre el mejor campo cañero y el más deficiente, o entre la mejor fábrica (ingenio) y la más deficiente. Finalmente, en cada capítulo se presentan los resultados específicos del estudio a cada escala de análisis y se discute en base a

dichos resultados algunas sugerencias en materia de integración de acciones orientadas a la mejora de la competitividad lo que permite plantear una amplia reflexión acerca de la contribución de las diferentes variables o factores de la competitividad y proporciona insumos para el desarrollo dirigido a proyectos en las regiones cañeras.

1. Competitividad de la Agroindustria Azucarera Mexicana

1.1. Introducción

El azúcar, es sacarosa de diferentes grados de pureza. El tipo refinado es una de las sustancias orgánicas más puras que se conocen, contiene 99,96% de sacarosa (sucrose). La palabra "azúcar" se deriva del término "Shekar" o "Shaker", usado en la India para nombrar este producto.

La sacarosa (**1-O-(β-D-Fructofuranosil)-β-D-glicopiranososa**) es un disacárido compuesto por una molécula de glucosa (dextrosa) y una de fructosa (levulosa). Está compuesta de 12 átomos de carbono, 22 átomos de hidrogeno y 11 de oxígeno con fórmula condensada $C_{12}H_{22}O_{11}$ (oxígeno 51,42%, carbono 42,10%, hidrógeno 6,48%) con peso molecular 342.30. Es un sólido cristalino que carameliza a 160°C, es un azúcar no reductor y polialcohol tiene 3 grupo hidroxilos primarios (-CH₂OH 6,1' y 6') y 5 en posición secundaria (-CH-OH, 2, 3, 3', 4 y 4') (Figura 1.1)(Boscoso, 2003).

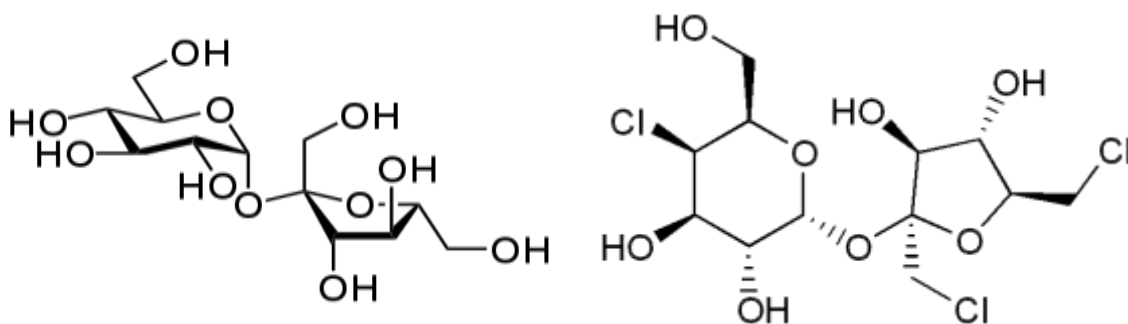


Figura 1.1 Estructuras Moleculares de la Sacarosa (Lichtenthaler, 2004)

La sacarosa, de acuerdo a ICUMSA (Internacional Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis) se clasifica dependiendo de los procesos aplicados a la extracción: **Azúcar de panela (Brown sugar, piloncillo, rapadura, gur, jaggery)** se obtiene con la menor elaboración industrial, tiene un mayor grado de humedad y coloración y menos grado edulcorante puro (75 %), pero conserva gran cantidad de oligoelementos y de vitaminas al no perderlos en el procesado. **Crudo, mascabado o moreno (raw sugar)**: se produce con cristales de tamaño grande y conserva una película de melaza que envuelve cada cristal. Por esta razón es más nutritivo que la refinada. Tiene entre 96 y 98 grados de sacarosa. Cuando el azúcar alcanza los 99,5 grados de sacarosa se denomina **blanco (White sugar)**. Cuando el azúcar ha alcanzado la pureza mayor posible, es decir, entre 99,7 y 99,9 grados, se denomina **azúcar refinado (Refined sugar)** (Harris, 2008).

Y a pesar de que la sacarosa está presente en cantidades limitadas en muchas plantas como el sorgo dulce, incluso en varias palmas, solamente la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*), que crece en países templados, y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) o cañamiel (del latín medieval *canna mellis* o *cannamella*, que crece en climas tropicales y subtropicales, son las únicas fuentes importantes para el comercio (el azúcar derivado de la caña aporta del 65 al 70 % del mercado mundial de edulcorantes); los países productores y exportadores de azúcar de caña venden mayoritariamente el producto en términos brutos. En contraposición, el azúcar de remolacha se comercializa casi íntegramente de modo refinado).

Durante varias décadas ambas materias primas han sido empleadas para la producción de sacarosa, recientemente la globalización y liberalización de los mercados ha puesto énfasis en la competitividad internacional de las diversas zonas productoras. En este sentido, a partir de la década de 1970, en Brasil la producción simultánea de derivados de la caña de azúcar, en especial azúcar y etanol, han definido la competitividad de la producción de azúcar. Caso similar en Estados Unidos de América, donde la producción de jarabes de maíz de alta fructosa (HFCS) y etanol basados en el maíz son sustitutos para el azúcar y etanol de base caña de azúcar (Aguilar *etal*, 2009).

FAOSTAT (2011) y FOLICTH, (2007) reportaron que el azúcar se produce en más de 150 países en el mundo con diferente grado de desarrollo económico y se consume en todos ellos localmente en diversos niveles (consumo per cápita en Kg azúcar/habitante/año) siendo la media mundial 22.64 (Figura 1. 2).

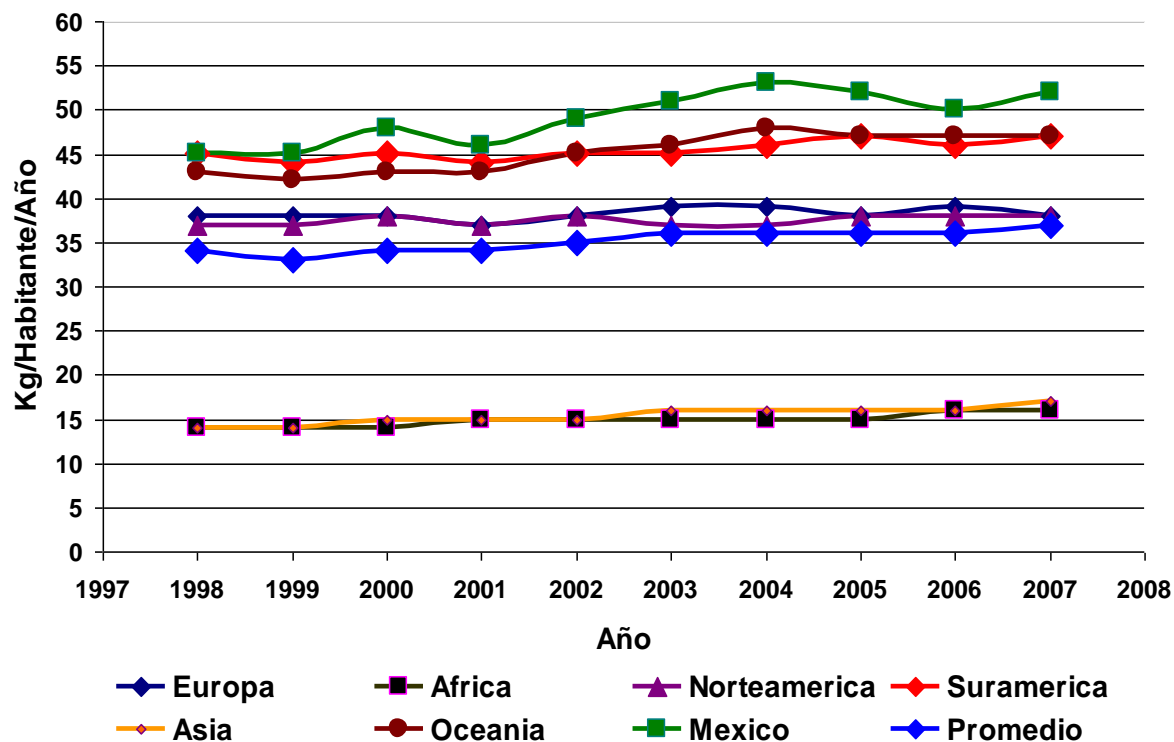


Figura 1.2. Consumo de azúcar en México (Periodo 1998-2007) (FOLICTH, 2007)

A partir de 2007, la producción global fue de 160 millones de toneladas y el consumo 148. 3 Millones de toneladas en promedio, lo que implica que el mercado mundial de azúcar es un mercado residual influenciado por la especulación y por los mercados de futuros, a pesar que HFCS (jarabes de maíz de alta fructosa) y los edulcorantes sintéticos está incrementando su usos a nivel mundial. La Organización Internacional del Azúcar (OIA) para la próxima década estima que la comercialización de edulcorantes corresponderá a 86 % Sacarosa, 6 % HFCS y 6 % edulcorantes sintéticos (55 % Aspartame, 13 % Sucralosa, 12 % Acesulfame k, 11 % Ciclamatos, 8 % Sacarina y 1 % Stevia) (ISO, 2007)

Los mayores productores de sacarosa para 2010 fueron Brasil (20.8 %), India (14.7 %), Unión Europea (11.9 %), China (7.0 %), U.S.A. (4.6 %), Tailandia (3.7 %), México (3.6 %) y Australia (3.1 %). A nivel regional la producción mundial de azúcar se distribuye para Asia (33 %), Latinoamérica y El Caribe (32 %), Europa (19 %), África (7 %), Norte y Centroamérica (5 %) y Oceanía (4 %)(FAOSTAT, 2011).

Ante el incremento de edulcorantes, las empresas azucareras tienen por regla general similares mecanismos de adaptación, comparten los mismos supuestos acerca del potencial futuro de la industria y tienen capacidades y objetivos similares, reaccionan de la misma manera a los cambios del entorno, tienden a ajustar su conducta estratégica hacia un punto de referencia en el mismo entorno

competitivo de los mercados. Sin embargo, el mercado internacional del azúcar dista de ser un mercado perfecto, que dependa de un mecanismo de precios para destinar recursos, y más bien se basa en una serie de mecanismos institucionales.¹ Pérez (2007) plantea que esto es debido a que el azúcar es un producto básico con un mercado internacional inusual donde se comercializa la producción “residual” y está sujeta a un estricto control gubernamental mediante acuerdos bilaterales o multilaterales donde Zimmermann (2002) estimó que el 20 % del azúcar exportable es libre de protección sin que organismos como la Organización Internacional del Azúcar hayan logrado organizar y/o reglamentar las cuotas (contrato 5 de la Bolsa de Londres, en el caso de azúcar refinado, o en el contrato 11 de la Bolsa de Nueva York, con relación al azúcar en bruto).

En suma, los subsidios que reciben los productores dentro de los mercados nacionales o regionales en países desarrollados obstaculizan el libre comercio conforme a ventajas comparativas² en los países en desarrollo.

¹ Aun que no existe una definición formal de las instituciones y existe un debate teórico para definirlo. Ha-Joon (2006) menciona que se usa para referirse a las reglas del juego y a las organizaciones tal como lo definió North (1994), las instituciones son las reglas del juego y están constituidas por condicionamientos formales (reglas, leyes, constituciones), e informales (normas de comportamiento, convenciones, códigos de conducta) y por sus poderes de coacción, o, en otras palabras, las instituciones son concebidas como mecanismos reguladores de la actividad económica, desarrolladas para regular sus relaciones políticas y económicas. Están constituidas por normas de distinto rango y por organizaciones creadas por esas normas, por acuerdo de participantes en actividades concretas. Estos mecanismos institucionales se basan en las Teorías Institucional y Neoinstitucional o economía institucional, el estudio de los rasgos de las estructuras institucionales económicas que posibilitan el desarrollo. El diseño institucional de un país es determinante para su desarrollo económico, social y político. Aglutina enfoques históricos, sociológicos y de elección racional, surge a principios de la década pasada como un conjunto de reglas que determinan los procesos de reforma institucional a partir de marcos de incentivos y restricciones impuestos a los comportamientos de los agentes y actores económicos, sociales y políticos; esto para la formulación e implantación de políticas públicas, cuyos resultados son medidos en términos de crecimiento y desarrollo. En consecuencia, la transformación económica es un proceso que depende de condiciones iniciales, como la capacidad institucional, la política y el contexto externo. El conocimiento implícito en el capital humano es visto como el factor competitivo clave de las organizaciones basadas en el desarrollo tecnológico, y a su vez, como la palanca del desarrollo económico de los Estados-nación (Vargas, 2008).

² Fuentes (1993) definió a las ventajas comparativas como aquellas situaciones relativamente permanentes y específicas originales en las condiciones naturales, clima, calidad de suelos, ubicación respecto a los mercados, y de tipo sociocultural y político, niveles salariales, habilidad de la mano de obra, estabilidad, que permiten a un país o región producir ciertas mercancías con ventajas que se reflejan en su mayor competitividad. El clima, la tierra y la mano de obra barata pueden ser factores decisivos en la competitividad cuando se trata de la producción convencional de mercancías similares, sin embargo, las nuevas tecnologías reducen significativamente el papel diferencial de aquellos factores a favor de la única ventaja sustantiva el capital. Para la caña de azúcar, la biotecnología abre una posición divergente al diseñar variedades adaptadas aun clima distinto al de la variedad original, entonces las diferencias climáticas perderán importancia.

Por otra parte, las importantes implicaciones comerciales de la innovación en los sectores competitivos hacen que para el mercado de azúcar, el mayor desafío ha sido el uso creciente de sustitutos, como el HFCS y los edulcorantes sintéticos, en parte debido al cambio en los patrones dietéticos de los países industrializados y en parte por la expansión de las empresas multinacionales en el mercado internacional del azúcar como *Cargill*, *Archer Daniels Midland*, *Tate & Lyle*, que producen azúcar crudo en países en desarrollo y la refinan en los países desarrollados. Para los países en desarrollo, los intentos por diversificarse, en especial a través del etanol de caña, como medida emergente al mercado azucarero, no han bastado para abrir mercados alternativos grandes y rentables para los derivados de la caña de azúcar a excepción de Brasil (Serunkuma, 2006).

En resumen, los países productores de azúcar han conformado una industria que responde en primer término a los intereses de política interna (autosuficiencia, apoyo a productores, subsidios etc.) y en menor medida a las tendencias del mercado internacional que presenta diversas características debido a la rigidez en la oferta, la demanda relativa y los precios a la baja (en el mundo desarrollado debido a la saturación y en los países en desarrollo debido a los bajos ingresos), y un ciclo de precios con picos, seguidos por largos periodos de precios deprimidos. Históricamente, los precios el azúcar ha sido los más volátiles de todos los productos básicos. A pesar de que la amplitud de las oscilaciones de los precios se ha reducido, los precios del azúcar siguen siendo muy volátiles y a la baja (1. 3).

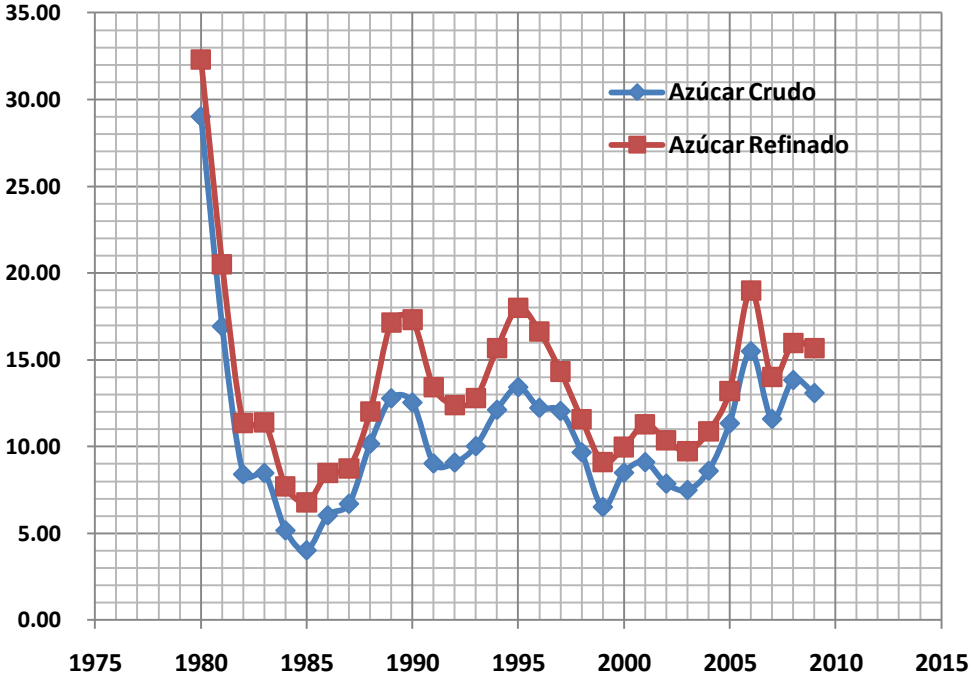


Figura 1.3. Precio internacional del azúcar 1980-2009 (¢USD/libra)(USDA,2009)

Y el mercado del azúcar se caracteriza por:

1. El comercio mundial de azúcar de caña crudo se realiza principalmente sobre la base de acuerdos a largo plazo (en países del tercer mundo principalmente) ya que, de ese modo, se garantiza el abastecimiento de azúcar en las refinerías (en los países desarrollados). En dichos acuerdos se pueden establecer condiciones comerciales preferentes, en vez de seguir las reglas del libre juego entre la oferta y la demanda. El azúcar blanco se comercializa en el ámbito mundial de acuerdo con las condiciones de libre mercado; el 41% de las exportaciones de azúcar crudo y 23% de las de refinado se concentran en Brasil, el mayor productor mundial de azúcar, por lo que sus decisiones de producción afecta directamente la tendencia de los precios.
2. La caída de los precios mundiales, lejos de estimular a los productores del Tercer Mundo a disminuir la oferta, más bien los obligan a aumentarla debido a la necesidad de obtener recursos financieros suficientes para sobrevivir, ya que no existen otras alternativas a corto plazo basadas en la diversificación de los usos de la caña dado que en la demanda mundial de azúcar, son precisamente los países del Tercer Mundo los que más crecen.
3. La conjunción de una agroindustria de capital intensivo, con la volatilidad del mercado mundial, ha dirigido a que los gobiernos subsidien la agricultura y las industrias nacionales de azúcar.
4. Aproximadamente el 80% de la producción de azúcar del mundo se mantiene en su país de origen beneficiándose de un mercado interno protegido.
5. El mercado mundial de azúcar es un comercio residual que ha de absorber las fluctuaciones en el suministro del abasto doméstico que, combinado con el ciclo de azúcar, conduce a la depresión de los precios y la volatilidad de las condiciones que lo caracterizan.
6. La competitividad de los costos de producción de cada industria azucarera doméstica es uno de los principales impulsores de la producción mundial de azúcar, la determinación de los futuros centros de la producción y el crecimiento de las exportaciones (Ríos, 2008; Harris, 2008).

Las consecuencias de una liberalización del mercado mundial del azúcar pueden ser derivadas de la capacidad exportadora de los países productores de azúcar como indicador de su competitividad (Figura 1. 4).

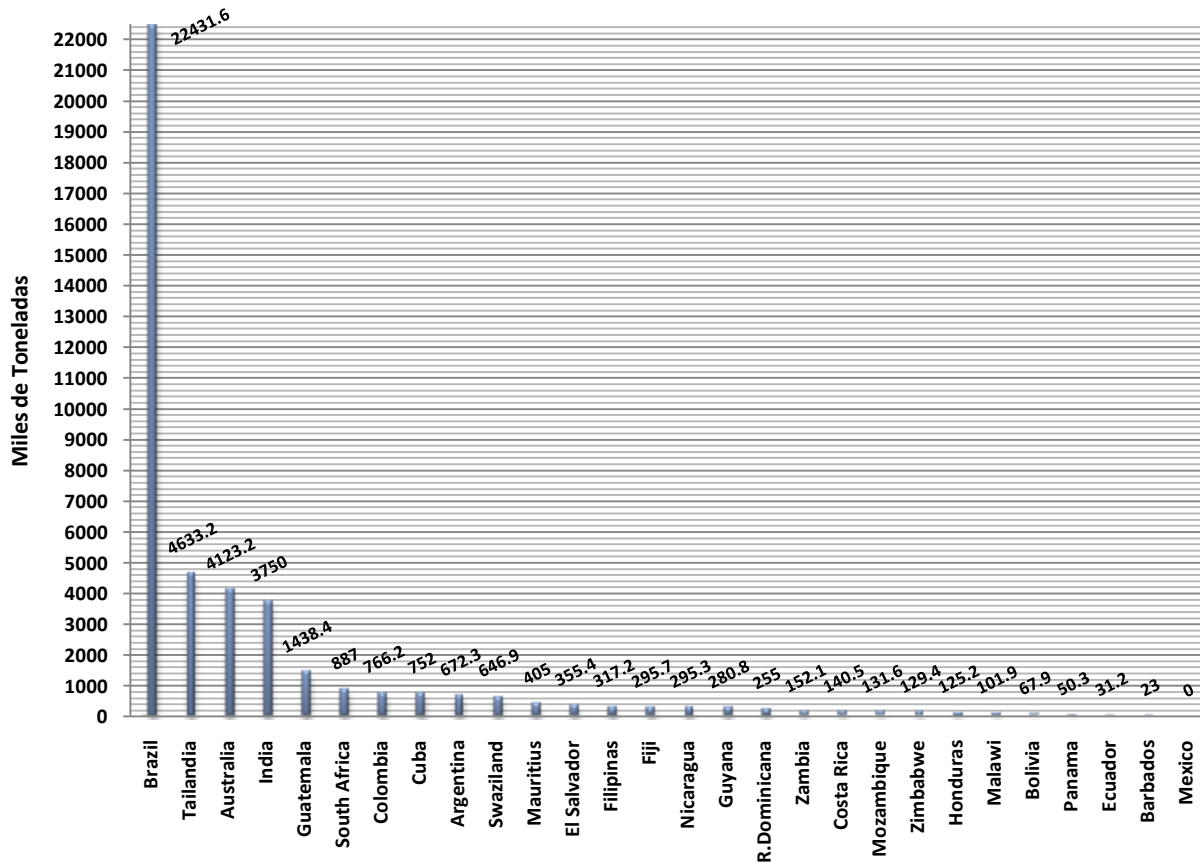


Figura 1.4. Capacidad exportable de países productores de azúcar de caña (F.O.LICHT'S, 2007)

Los países productores y exportadores de azúcar se pueden dividir en cuatro grupos (ISO, 2005). En primer lugar, están los productores de bajo costo con condiciones favorables naturales, económicas y políticas, como Brasil, Australia, Tailandia y Sudáfrica, que sería el grupo de ganadores de una liberalización y presentan mayor flexibilidad frente a los cambios en el mercado mundial, ya que pueden participar tanto en el comercio de azúcar crudo como refinado. En segundo lugar, están los que son natural, económica y políticamente menos favorecidos de la producción de azúcar de caña, donde la liberalización de los compromisos internacionales del mercado del azúcar provocaría una disminución en la producción local de azúcar como Estados Unidos y en especial para la Unión Europea (considerados mercados externos preferenciales).

Por otro lado, hay un grupo de países menos competitivos productores de azúcar de caña, a menudo en desarrollo, que en la actualidad son favorecidos de los beneficios de cuotas de importación preferente con los precios garantizados del azúcar de Estados Unidos y la Unión Europea sufren de una liberalización del mercado del azúcar por ejemplo México, El Caribe y Centroamérica. Otro grupo de importantes productores, con gran potencial físico para la producción de la materia

prima con zonas, donde las condiciones naturales se han vuelto favorables por la innovación, la inversión y la tecnología del déficit existente en la productividad, India, China y Cuba y, por otra parte por la importante producción de azúcar en el Medio Oriente y África. Allí, el crecimiento de la productividad y la participación en un mercado azucarero depende en gran medida de los cambios de política en estos países. El cuarto grupo incluye a todos los importadores de azúcar; países que sufren el aumento y la volatilidad de los precios mundiales del azúcar en relación con una liberalización del mercado.

1.2. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Tradicionalmente la caña de azúcar ha estado vinculada a la agroindustria artesanal (trapiche panelero) o tecnificada (ingenio azucarero o fábricas de etanol), siendo su destino principal la producción de sacarosa para el consumo humano. La planta de caña está constituida por una fracción soluble de azúcares y otra insoluble de compuestos estructurales como son la celulosa, hemicelulosa y lignina. El objetivo primario agroindustrial de la caña es el jugo o guarapo. Este contiene 16 a 20% de materia seca y está constituido principalmente por sacarosa y azúcares reductores como glucosa y fructosa (Sarria, 1990).

La caña se cultiva en más de 130 países y territorios y la superficie cosechada se distribuye en 7,638 millones de hectáreas en Asia, 3.519 millones en América del Sur, 2,300 millones en Centroamérica, 1,060 millones en África, 0.489 millones en Oceanía y 0.393 millones en América del Norte en países desarrollados y en desarrollo con diverso nivel tecnológico e indicadores de productividad (Figuras 1.5 y 1.6).

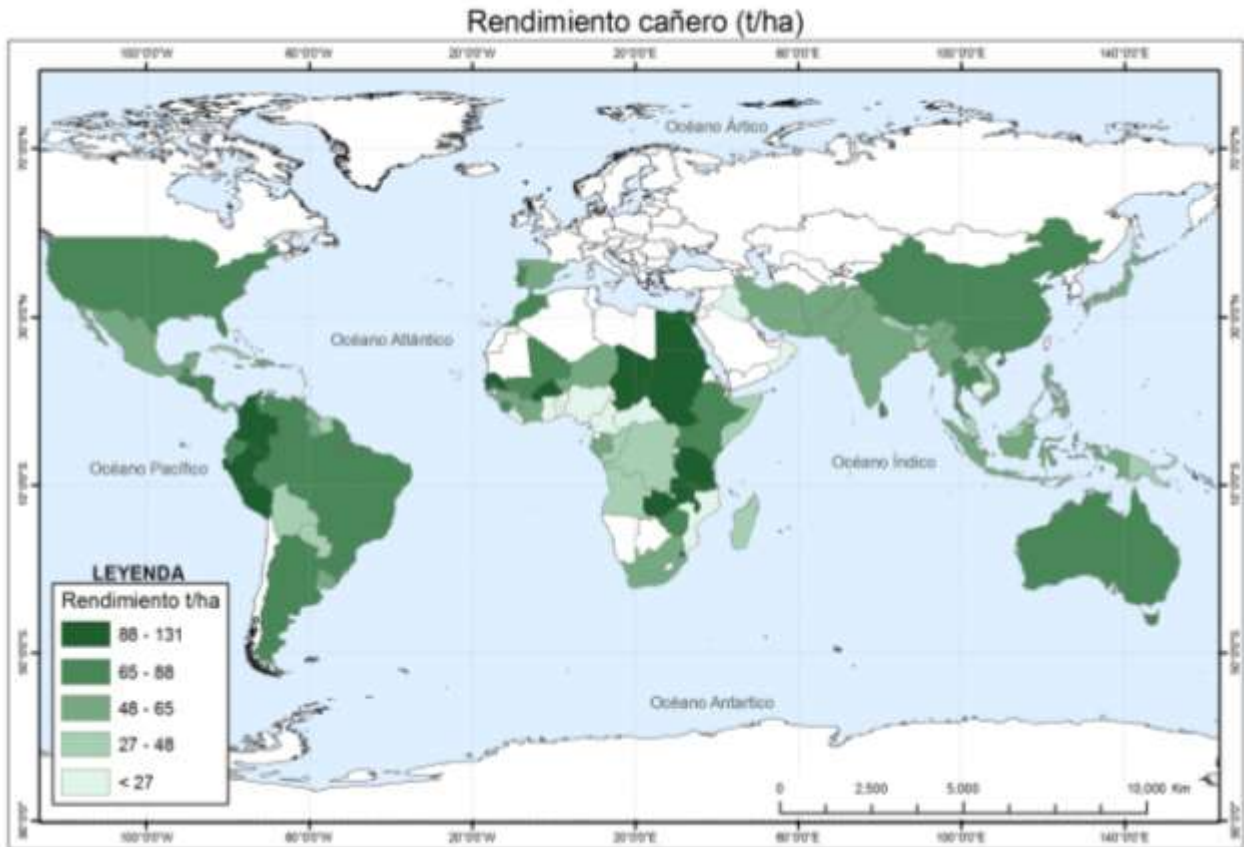


Figura 1.5. Países productores de caña de azúcar (FAOSTAT, 2011)

En estos países, el mercado directo para la producción primaria de la caña de azúcar está dado por la demanda del producto que realizan principalmente los ingenios azucareros; es decir, la producción mundial de caña de azúcar está directamente relacionada con la producción de azúcar y en segundo lugar el etanol combustible. Los ingenios azucareros requieren tallos molederos con una menor magnitud de precio, ya que el valor de la caña representa un factor crítico de la competitividad, el mismo se constituye como el elemento que reviste la mayor magnitud en la estructura de costos de producción del azúcar; en segundo lugar las factorías demandan caña de mayor calidad, de tal forma que se incremente tanto su rendimiento en campo (Toneladas de caña/ha), rendimiento agroindustrial (Toneladas de azúcar/ha) y rendimiento en fábrica (%).

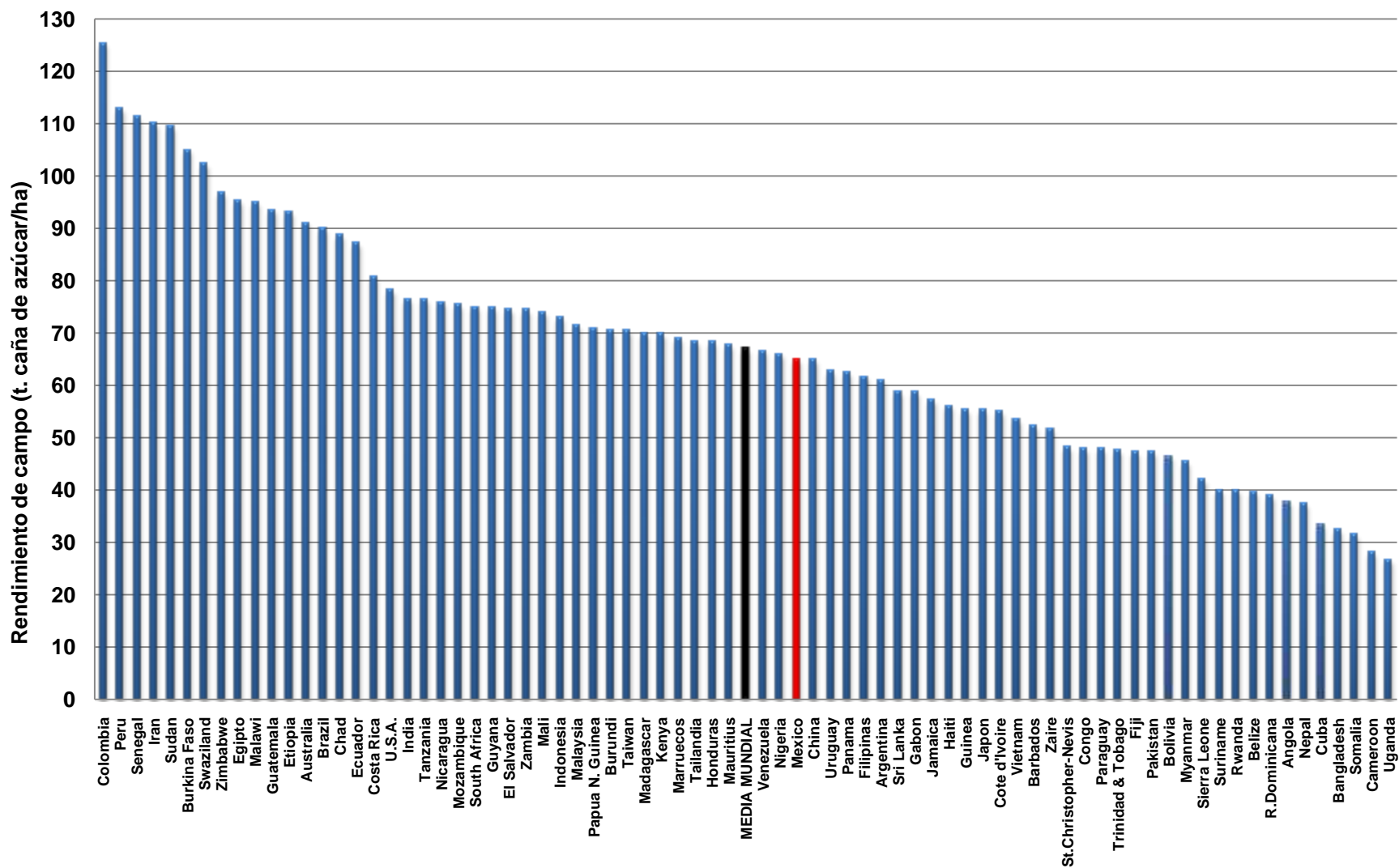


Figura 1.6. Rendimiento de campo de países productores de azúcar de caña (t. caña/ha) (FAOSTAT, 2011)

Así, la caña de azúcar como cultivo agroindustrial tiene probablemente la mayor distribución geográfica. Con algunas excepciones, se cultiva satisfactoriamente en las zonas situadas en las latitudes 30° y 30° Norte Sur del Ecuador (entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio). El Norte de Uruguay (31° S) es el punto más austral y el sur de España (36° N) es el punto más septentrional del mundo en el que la caña de azúcar se cultiva comercialmente. Sin embargo, la industria azucarera de caña de azúcar es sin duda, el agregado de cierto número de regiones productoras separadas, en mayor o menor grado, por barreras naturales y con características agrícolas diferentes; lo que tiene relación directa con la duración de la estación de cosecha (zafra) y por tanto en la productividad (Ramankutty, 2008).

En este sentido, Hernández Laos, (1992) planteo que la vinculación entre campo y fábrica en la industria azucarera es muy estrecha, va mas allá de la calidad de la materia prima procesada. Existen razones técnicas para asignar a la extensión de la zafra un papel fundamental en los rendimientos y competitividad de los ingenios, no sólo porque permite aprovechar más intensamente las instalaciones existentes en economías de escala sino también porque la adecuada estructura de cultivos (plantilla, soca y resoca) depende la posibilidad de extender la duración de la zafra, abasteciendo a los ingenios de caña con un adecuado contenido de sacarosa como el caso de los ingenios de Australia, Colombia, Brasil, Perú y los países Africanos

A partir de 2003, la producción mundial de caña de azúcar se ha situado en la franja de 1,395 millones de toneladas, destacándose como principales productores Brasil 30 %, India 21 %, China 7 %, Tailandia 4 %, Pakistán 4 %, México 3.5 %, Colombia 3 %, Australia 3 %, USA 2 % e Indonesia 2 %. La producción mundial de este cultivo al igual que la superficie cultivada no tuvo cambios relevantes, los niveles más altos de producción se dieron en 2002, 2003, 2006 y 2007 con 1,331, 1,376, 1,389 y 1,558 millones de toneladas respectivamente (FOLICTHS, 2007).

1.3. Agroindustria y Competitividad

La dinámica del sistema internacional en la primera década del siglo XXI, acrecienta la necesidad de reconsiderar las fuentes alimenticias y energéticas, en lo fundamental a los hidrocarburos y los biocombustibles, como variables determinantes en la reconfiguración de la economía mundial. Es decir, la nueva regulación de los Estados-nacionales sobre el mercado global, así como los efectos ambientales que genera la explotación de recursos naturales, los biocombustibles, entre otros temas se inserta la agroindustria de la caña de azúcar como tradicional fuente de un alimento básico para la humanidad, el azúcar, y ahora como la principal materia prima energética del etanol combustible.

En esta nueva dinámica; el fenómeno de la globalización, caracterizado por la intensificación de la competencia internacional derivada de la visión del mundo como un gran mercado, trae consigo profundas transformaciones productivas y socioeconómicas que constituyen un proceso que tiene lugar simultáneamente a

diferentes niveles (internacional, regional y nacional) es decir, la capacidad que tienen las unidades productivas para mantener o aumentar su participación en los mercados de referencia (locales, nacionales o internacionales) y al mismo tiempo obtener beneficios frente a la competencia nacional o internacional; es decir, comúnmente el concepto de competitividad se asocia con la participación de un país en los mercados mundiales, y a nivel país es entendida como la capacidad para competir eficazmente con la oferta extranjera de bienes y servicios en los mercados doméstico y extranjero (Loteró, 2005)

La agroindustria de la caña de azúcar (comúnmente denominada industria azucarera) debe hacer grandes retos en materia de productividad y competitividad; las opciones que en el pasado eran válidas para insertarse en el mercado internacional se están agotando, en especial las basadas en recursos naturales, mano de obra barata y escasamente calificada, en condiciones de trabajo limitadas y en evaluar el desempeño a partir de indicadores productivos. En este sentido, dentro de los conceptos instrumentales del discurso económico-político dominante en la industria nacional, como categoría clave para la explicación de los fenómenos sociales actuales, los términos competitividad, productividad y diversificación ocupan un lugar singular por la relevancia que ha adquirido en los últimos tiempos. Se trata, como tantos otros, de un término acuñado en la esfera académica y una notable impregnación ideológica cuando se introduce en el terreno del debate público que dice modernízate y compite (Calva, 1993).

1.3.1. El concepto de Agroindustria (AI)

El origen de los conceptos y métodos que orientan el estudio de un sistema alimentario y de una cadena o circuito agroalimentario proviene de los planteamientos pioneros, por un lado, de la escuela del *Agribusiness* en Estados Unidos de Goldberg y Davis, (1957) en Harvard, como modelo de los EEUU en lo que hace al agro y a la agroindustria. Este modelo imprime la lógica industrial al agro aplicando la teoría y concepción de sistemas a la economía, dándole prioridad a la interdependencia y naturaleza interrelacionada de aspectos muy disímiles como: la oferta agropecuaria, el acopio, el almacenamiento, el procesamiento, la distribución y el consumo; además, de incluir las instituciones y acuerdos comerciales que afectan y coordinan las sucesivas etapas del flujo de un bien (las políticas y regulaciones gubernamentales, los mercados actuales y futuros, la integración contractual horizontal y vertical, las asociaciones de comercio, las franquicias, los servicios y organizaciones educativas, las cooperativas, los grupos de transporte y entidades financieras).

El término *Agribusiness*, es incorporado en América Latina con el nombre de agroindustria (AI). Este modelo va de la mano de una “promesa” de producción masiva de alimentos y de generación abundante de divisas por exportaciones (derivada de mono producción y la mono exportación por especialización productiva) con una inserción internacional dependiente y vulnerable basada en la dependencia en insumos, en bienes de capital y en tecnología de productos y servicios importados (Graciano Da Silva, 1994).

El principal objetivo de la agroindustria radica en contribuir al fortalecimiento de las economías a través de procesos de transformación de la materia prima agrícola, es decir, la agroindustria aparece como un elemento unificador, integrador entre estos dos sectores conflictivos: el sector campesino y el sector industrial a través de aumentar el ingreso de los productores, crear empleos, fortalecer la organización de productores, mejorar el valor nutritivo de los productos, disminuir las pérdidas de post-cosecha, crear capacidades empresariales para los campesinos, factibilizar económicamente la actividad de transformación, preservar el medio ambiente, utilizar subproductos y diversificar la producción agrícola (Machado 2002; Riveros, 2001).

Solleiro (1993) planteo que la agroindustria es un sistema dinámico que implica la combinación de dos procesos productivos, el agrícola y el industrial, para transformar de manera rentable los productos provenientes del campo. El concepto va más allá de los tradicionales como industria de alimentos, cuyo único vínculo con la agricultura se da a nivel de mercado mediante la compra de insumos, o el de cadena alimentaria que expresa el funcionamiento e interrelaciones de los productos dentro del sistema alimentario.

Para este autor, en forma general puede decirse que existen dos criterios básicos para determinar que es agroindustria: Que haya producción agrícola, pecuaria, forestal o pesquera y un proceso de transformación y comercialización

A partir de estos dos criterios básicos surgen diversas variantes o escuelas (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Enfoques del concepto de agroindustria (Solleiro, 1993)

AGRIBUSINESS (HARVARD)
<p>El sistema alimentario incluye a todos los participantes involucrados en la producción, procesamiento y mercado de un producto agrícola. El sistema Agribusiness incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Producción de insumos: semillas, maquinaria, fertilizantes, pesticidas, etc. • La granja: que consume tales insumos en la producción de cosechas o animales. • La industria procesadora: que transforma estos productos. • Instituciones: que intervienen y coordinan las etapas sucesivas que siguen los productos en el mercado, incluyendo el gobierno. <p>Aquí, las fuerzas del mercado coordinan un sistema de producción de elementos altamente tecnificados, y el Estado subsidia al agricultor, que es la parte más débil del sistema.</p>
ESCUELA FRANCESA MONTPELLIER (LOUIS MALASSIS)
<p>En este concepto se enmarca el término <i>Agroindustria</i> dentro del subconjunto agroalimentario, en donde el sector agrícola desempeña una actividad primordial: la producción de materias primas, sobre la cual se edifica una supra estructura industrial Y comercial que elabora los productos agrícolas, distribuye las materias primas y los productos semiterminados y terminados, requiriendo para ello del concurso de otros sectores.</p> <p>En esta concepción, el sector agroalimentario es dividido en subsectores funcionales y en subsectores económicos, como sigue:</p> <p>a) <i>Subsectores funcionales</i>: - Agricultura - Industrias agrícolas y alimentarias - Distribución - Sector auxiliar, que produce insumos y maquinaria</p> <p>b) <i>Subsectores económicos</i>: -Sector capitalista - Sector artesanal - Sector cooperativo - Sector publico</p> <p>La estructura del sector agroalimentario se caracteriza así, por la importancia relativa de dichos subsectores y por sus relaciones de interdependencia y concurrencia. Esta es una concepción integradora y totalizante, en donde la agroindustria forma parte de un subsistema del sistema socioeconómico y político de un Estado, abierto e integrado al mercado nacional e internacional.</p>
NACIONES UNIDAS
<p>El sistema de desarrollo agroindustrial conlleva la integración vertical desde el campo hasta el consumidor final de todo el proceso de producción de alimentos -u otros artículos de consumo basados en la agricultura-. La integración vertical significa que el proceso en todas sus fases y su planificación dependen de una autoridad orientada hacia el mercado con criterio industrial y que practique una política adecuada a la demanda del mercado.</p> <p><i>Un combinado industrial</i> es una empresa integrada que involucra la producción de materias primas agrícolas, su transformación en productos finales y subproductos, que son empacados y comercializados por el combinado.</p> <p>La esencia de esta definición es la integración o coordinación técnica y económica de procesos o actividades. Se trata de integrar bajo un poder decisorio unificado los cuatro elementos básicos del sistema agroindustrial:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Abastecimiento de insumos al agro. 2. La producción pecuaria. 3. La transformación o procesamiento del producto agropecuario. 4. El Mercado de productos
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
<p>El análisis de la agroindustria es complejo debido a que esta juega dentro de las cadenas o sistemas agroalimentarios un papel de bisagra entre la agricultura y el resto de la industria y de la economía; además, está ligada a los servicios de comercialización, transporte e innovación tecnológica y depende de políticas estatales de precios, crédito, infraestructura y el sistema agroalimentario mundial.</p> <p>La agroindustria es un proceso de producción social que acondiciona, conserva y/o transforma las materias primas cuyo origen es la producción agraria, pecuaria y forestal. En este sentido, la forma de concebir y abordar la agroindustria está influida por la práctica de los individuos grupos de investigación, instituciones y organizaciones, la problemática, las contradicciones y conflictos sociales.</p> <p>Los elementos fundamentales para definirla como rama industrial son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La función que desempeña en la producción social 2. La procedencia y características de las materias primas 3. El destino y uso de sus productos <p>En lo que respecta a la metodología para abordar el estudio de la agroindustria, se plantean cinco niveles de estudio que constituyen abstracciones para abordar el fenómeno agroindustrial ante su complejidad, y que agregan diferentes fenómenos técnicos, económicos y sociales:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Operaciones y procesos unitarios 2. Planta agroindustrial 3. Unidad de producción agroindustrial 4. Sistema agroindustrial 5. Cadena agroindustrial

Merchad (2005) clasifica a la agroindustria mediante el grado de transformación industrial a través de la apropiación y sustitución en 4 tipos.

1. Agroindustrias que dan solamente un acondicionamiento a las materias primas, sin cambiar su forma o composición fisicoquímica
2. Agroindustrias que cambian la composición física de las materias primas, pero no cambian su composición química
3. Agroindustrias que alteran la composición física, química y organoléptica de las materias primas
4. Agroindustrias que implican una transformación profunda de la composición fisicoquímica de los productos.

En ese período de cambios, las transformaciones tecnológicas y las nuevas exigencias de los consumidores han modificado los patrones de demanda hacia una mayor diversificación facilitando la aparición de nuevos procesos y productos, de modo tal que la competencia entre empresas agroindustriales ha dejado de basarse únicamente en los precios, pasando a primer plano como factores de competitividad, la calidad, el diseño y la diferenciación de productos (López Macías, 2007 y Boucher, 2001).

1.4. El concepto de Competitividad

La agroindustria se encuentra en la dinámica general de los sistemas agroalimentarios y los espacios geoeconómicos, es decir, el mercado y las regulaciones comerciales nacionales e internacionales derivadas de la globalización y la competitividad.

La competitividad puede basarse en tecnología, en precios de insumos, en la capacidad reactiva e innovadora y en ventajas en las relaciones con los demás agentes económicos, en términos de escala y composición de la producción, las experiencias acumuladas, el grado de especialización vertical y el conocimiento.

Para llegar a su definición, la literatura internacional de negocios presenta numerosas obras conceptuales y empíricas relacionadas. Es un parámetro de la evaluación comparativa de los resultados económicos de naciones, empresas, firmas, industrias o productos es decir, la capacidad de una empresa o un producto para competir con otros en el mercado internacional, el resultado comparado de su acción en el mercado. Esta definición explora las causas fundamentales que explican la competitividad porque crea una dependencia entre los factores que influyen los costos de producción o la estructura de su demanda y finalmente la productividad; sin embargo, no es claro si la competitividad es alcanzada por una disminución de los costos de producción o más bien por factores ligados a la demanda, los cuales permitirían una mayor diferenciación de productos al explotar nuevos nichos de mercado como se manifiesta abiertamente en el discurso de la diversificación de la industria azucarera (Helmsing, 1999).

Para Garay (1998), la competitividad de una nación es el grado al cual se puede producir bajo condiciones de libre mercado, bienes y servicios que satisfacen la

evaluación de los mercados internacionales, y simultáneamente incrementar los ingresos reales de sus ciudadanos. La competitividad a nivel nacional está basada en un comportamiento superior de la productividad y en su capacidad de adaptación a las nuevas condiciones del mercado (a diferencia de las ventajas comparativas referidas a recursos naturales, técnicos y formación de capital (Zermeño 1996).

Para Romero (2005), sin incrementos constantes de productividad no es factible sostener la competitividad a largo plazo ni obtener ganancias netas estáticas y dinámicas en el comercio exterior. Brown *etal.* (2007) agregaron que la productividad y su mejora sostenida están influenciados además por dos fenómenos significativos de la economía contemporánea: a) el conocimiento y el aprendizaje y por tanto la formación de capital social y b) la globalización. El primero se considera el núcleo del bienestar, el segundo el acelerador y la referencia del primero. A la vez ambos se refuerzan mutuamente y junto a la inversión en investigación y desarrollo así como en desarrollo tecnológico y organizativo conforman el núcleo del avance de las capacidades de innovación.

En relación a esta definición, Solleiro (2008) menciona que el concepto de competitividad ha sido propuesto de diversas formas, sin importar desde qué perspectiva se estudie, el desempeño competitivo depende de la formación de capital intelectual y de la capacidad de innovar que tenga la sociedad. El autor cita a The US Competitiveness Policy Council que se refiere a *la habilidad de una economía nacional para producir bienes y servicios que superen las pruebas de los mercados internacionales, al mismo tiempo que los ciudadanos pueden alcanzar un estándar de vida creciente y sustentable en el largo plazo.*

Por su parte, The Canada's Task Force on Competitiveness in the Agri-food Sector, propone que la competitividad es *la capacidad sostenida para ganar y mantener una participación lucrativa en el mercado*; esta definición menciona que la competitividad tiene entonces que ser entendida como un proceso de relación entre las organizaciones empresariales y los mercados en el que juegan un papel determinante las expresiones diversas que tienen las estructuras de poder, tanto de los gobiernos como de los grupos de interés, las cuales determinan el contexto en el que las empresas compiten.

Sobrino (2002) señaló que un mercado de competencia empresarial en la globalización, la competitividad no significa maximizar los beneficios con la minimización de los costos sino con la combinación de cuatro elementos principales 1) dirección de la empresa e innovaciones que se generan en el producto, en el proceso productivo o en la organización empresarial; 2) tipos de coordinación entre las fases de la cadena productiva, 3) organización de la industria en cuanto a competencia y cooperación interfirmas o extrafirmas y 4) elementos de una política industrial activa que coadyuva al uso creativo y formativo del mercado, enfoque de producción opuesto al de distribución y determinación de los sectores estratégicos para maximizar el crecimiento industrial

Otras definiciones de competitividad a nivel de firma o empresa indican que es la habilidad de entregar bienes y servicios en el tiempo, lugar y forma preferida por los clientes de la misma, a precios tan buenos o mejores que los ofrecidos por los otros oferentes, obteniendo al menos el costo de oportunidad de los recursos empleados (Sharples,1990, Cook, 1991); y entre otros factores que pueden determinar el crecimiento, la supervivencia y la competitividad empresarial se pueden citar la integración, la diversificación, el liderazgo en costos y el efecto de la experiencia (Lora, 2004).

Esta compleja red de definiciones y puntos de vista, así como de relaciones entre empresas, grupos industriales e instituciones públicas que actúan dentro de un contexto macroeconómico y político determinado, ha llevado a desarrollar visiones diversas de la competitividad, según se centren en la firma individual, en algún sector económico o en la nación (Helmsing, 1999). Sin embargo, actualmente se acepta que la ventaja competitiva se genera a nivel de la empresa y de industrias específicas (porque es en la empresa donde la competitividad emerge y se expresa con sus beneficios y consecuencias). Por otro lado, también se ha generado un alto nivel de consenso sobre el hecho de que el complejo de políticas públicas y de relaciones entre las empresas e instituciones que rodean a cada industria conforma el ambiente competitivo, lo que Porter (1990) llama el diamante de la ventaja nacional.

1.5. Factores determinantes de la competitividad. El diamante de Porter

Porter (2008, 2005 y 1990) propuso un modelo para analizar los cinco factores determinantes de la competitividad en el mercado en el cual la firma compite: la tecnología, los atributos de los insumos, economías de producción, la diferenciación de producto y otros factores externos y concluyó que:

- Las empresas obtienen y sostienen sus ventajas competitivas a través del mejoramiento y la incorporación permanente de innovaciones. Este debe ser un proceso que exige acciones e inversiones continuas. Los países triunfarán si sus circunstancias nacionales proporcionan un ambiente que estimule el mejoramiento y la innovación.
- Existen factores determinantes generales de la ventaja competitiva, los cuales estimulan o limitan a las empresas nacionales. Estos factores determinantes conforman un “diamante nacional” que se relaciona y refuerza internamente por la interacción sinérgica entre sus componentes. La interacción o refuerzo mutuo de los cuatro atributos del diamante se considera más importante que los atributos en sí.

Los componentes del diamante de Porter son: 1) Condiciones de los factores, 2) condiciones de la demanda, 3) Industrias relacionadas y de apoyo, 4) estrategia, estructura y rivalidad de las empresas y 5) Otros factores, el gobierno y el azar (Figura 1.7)

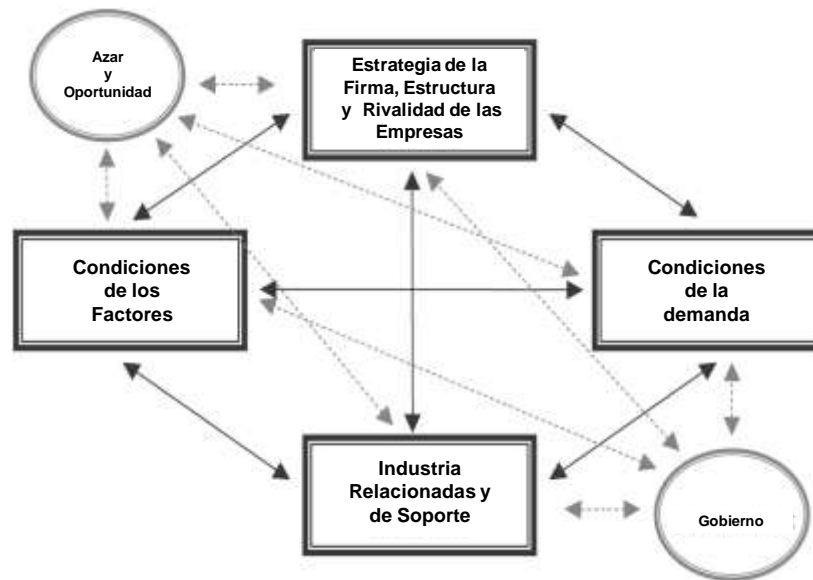


Figura 1.7. Determinantes de la competitividad (Porter, 2008)

El nivel de avance e integración de estos elementos determina la capacidad de una región para ser competitiva y en consecuencia, alcanzar niveles superiores de desarrollo (Porter, 2008).

1.- Condiciones de los factores: se refiere a la posición de la nación (o región) en factores de producción (tierra, recursos naturales en general, condiciones agroclimáticas, recursos humanos, infraestructura, servicios básicos, universidades, centros (programas) de investigación, capacitación y transferencia de tecnología, recursos de capital, etc.). Los factores pueden clasificarse en:

1. **Factores básicos:** son aquellos previamente heredados o creados con inversiones moderadas (recursos naturales, condiciones agro-climáticas, paisaje, mano de obra no calificada).
2. **Factores avanzados:** son aquellos desarrollados a partir de la inversión permanente y en capital humano y físico (recursos humanos altamente calificados, centros (programas) de investigación, capacitación, desarrollo y transferencia de tecnologías, infraestructura de alto nivel (telecomunicaciones, vialidad, servicios básicos en general).

Otra forma de clasificar los factores de producción es:

1. **Factores generalizados:** aquellos que son útiles para varias o la totalidad de actividades productivas y sectores económicos (autopistas, universidades, servicios públicos, etc.).

2. **Factores especializados:** son los que resultan importantes o vitales para una determinada industria o sector (centros de investigación, capacitación y transferencia de tecnología altamente especializados; producción de un insumo o materia prima no común, infraestructura especializada, sistemas de información o investigación de mercados, etc.). Es decir:

- Las ventajas competitivas requieren de factores de todo tipo que son necesarios, pero las industrias, sectores y actividades productivas que se sustentan en factores básicos y generalizados (ventajas comparativas) pueden ser fácilmente duplicadas y desplazadas del mercado por los nuevos competidores.
- Los factores básicos y generalizados pueden ser importantes en ramas de actividad que requieren poca tecnología (sector agrícola y agroindustrias).
- Muchas veces la abundancia de factores básicos se confunde con riqueza y no estimula la creación de factores avanzados y especializados que son la fuente más importante de ventajas competitivas.

Los factores creados (avanzados y especializados) son en la actualidad la principal fuente de ventaja competitiva. De allí que las naciones que invierten en la creación de estos factores son aquellas que mayor competitividad alcanzan (Porter, 2008; Rivera, 2003; Paños, 1999)

2.- Condiciones de la demanda: se refiere a la naturaleza y características de la demanda doméstica. Las naciones o regiones pueden ganar ventajas competitivas derivadas del tamaño del mercado, las tendencias de la demanda y por sobre todo de la forma como las empresas perciben, interpretan y responden a las necesidades de los consumidores. Los elementos más importantes a tener en consideración sobre las condiciones de la demanda son los siguientes:

- **Composición y segmentos de la demanda:** las empresas tienen mayor probabilidad de lograr ventajas en aquellos segmentos de la demanda que representan una importante porción de la demanda en el mercado nacional pero que también representan una participación menor en otras naciones.
- **Anticipación a las necesidades de los consumidores:** capacidad de las empresas locales para anticiparse a la demanda, lo cual les da una idea clara de las necesidades emergentes de los consumidores nacionales y posiblemente en el extranjero.
- **Consumidores exigentes:** también las empresas pueden ganar en competitividad porque tienen clientes exigentes que le obligan a mejorar su desempeño y los productos a ofrecer en el mercado.

Tamaño y crecimiento de la demanda doméstica: una demanda creciente y de gran tamaño podría estimular la obtención de economías de escala en el mercado doméstico y perfeccionar sus productos.

3.- Existencia de industrias relacionadas y de apoyo (Conglomerados, redes o Clusters): la disponibilidad de eficientes proveedores de insumos, tecnología, servicios de asistencia técnica, compradores, vías de comunicación y eficientes servicios de transporte y comercialización, etc. genera sinergias, externalidades positivas e interacciones que potencian la competitividad de las empresas. Es por ello que el estímulo a la conformación de conglomerados o agrupamientos industriales (*clusters*) es importante.

4.- Estrategia, estructura y rivalidad de las empresas: se refiere al entorno legal que facilita u obstaculiza la creación de empresas, el desarrollo de la competencia en el componente industrial, las actitudes positivas hacia la innovación, la existencia de rivales que impulsen la creatividad, las inversiones y la innovación para posesionarse del mercado.

5.- El rol del Estado y del gobierno: crear las condiciones de estabilidad macroeconómica, las economías externas positivas y en general tratar de potenciar los elementos positivos del diamante nacional de la competitividad; no sólo para conformar un ambiente macroeconómico, institucional y político de estímulo a las inversiones y a la competencia debido a las fallas que presentan los mercados y a razones de equidad social (los pequeños productores predominan en la mayoría de las cadenas agroproductivas en los países de menor desarrollo). Para ello, el Estado, más allá de sus funciones tradicionales (garantizar la estabilidad macroeconómica, garantizar los derechos de propiedad, la seguridad personal y jurídica, la provisión de servicios básicos de salud y educación) debe tener una presencia más activa en los mercados, fomentando las actividades productivas, regulando y organizando la comercialización, corrigiendo las fallas de información y de mercados ausentes e incompletos, promoviendo el financiamiento a la producción agrícola e industrial, estimulando las exportaciones, construyendo externalidades positivas y ofertando bienes públicos y semipúblicos (vialidad, sistemas de riego, infraestructura de servicios básicos, telecomunicaciones, transferencia de tecnología e investigación básica), fomentando la organización de los productores y contribuyendo a la conformación y articulación de las aglomeraciones, redes o *clusters*, etc.

6.- Los hechos fortuitos: se desarrollan fuera del control de las empresas y generalmente también de los gobiernos nacionales. Un hecho fortuito favorable a la competitividad son los descubrimientos científicos por obra de la casualidad. Hechos fortuitos en contra de la competitividad son las guerras, los desastres naturales, las plagas y enfermedades.

Lora (2004) menciona que la contribución de Porter al análisis de la competitividad es la medición de ésta en lo microeconómico, que se refleja en la modernización de la gestión empresarial, el ambiente organizacional y productivo en que se desenvuelven las empresas. Por otra parte, la ventaja competitiva de las empresas depende más de la innovación de productos y procesos que de la abundancia de mano de obra barata y recursos naturales, lo que muestra el tránsito hacia la nueva era del conocimiento en que el capital intelectual, apoyado

en los trabajadores del conocimiento, es el factor estratégico de la ventaja competitiva sustentable, a diferencia del viejo modelo de apertura y estabilización basado en la ventaja comparativa neoclásica, según la cual un país como México, con abundante mano de obra.

Otros autores (Montegut 2006; Martín *et al.* 1993; y Westgren *et al.* 1991) definen la competitividad *como la capacidad de una empresa para generar beneficios y mantener una cuota de mercado*. Por tanto, asocian competitividad a dos conceptos clave: beneficio y cuota de mercado. Dichos indicadores dependen de una serie de factores que son controlados por la empresa (tecnología, producto, estrategia, costos, investigación, etc.), de una serie de factores controlados por el estado (políticas, impuestos, etc.), de factores poco controlables (precios de los inputs, condiciones de la demanda) y de factores que no pueden controlar como las condiciones climáticas. Por tanto para estos autores, la productividad, la tecnología, el producto, los costos, la estructura del sector y las condiciones de la demanda son factores clave para explicar la competitividad de una empresa desde la perspectiva de su rentabilidad y cuota de mercado.

En consecuencia, el posterior concepto de competitividad denominada sistémica de la Escuela Alemana de Berlín donde Esser (1996 y 1994) mencionan: *“La competitividad de la economía descansa en medidas dirigidas a un objetivo, articuladas en cuatro niveles del sistema (el nivel meta, macro, micro y meso) y se basa asimismo en un concepto pluridimensional de conducción que incluye la competencia, el diálogo y la toma conjunta de decisiones, concepto al que están adscritos los grupos relevantes de actores”*.

Sus planteamientos pueden resumirse así:

1. La competitividad industrial no surge espontáneamente al modificarse las políticas macroeconómicas. La competitividad es el producto de un patrón de interacción compleja y dinámica entre el Estado, las empresas, las instituciones intermediarias y la capacidad organizativa de una sociedad.
2. Es importante que la sociedad provea un sistema de incentivos que obligue a las empresas a desarrollar procesos de aprendizaje y a incrementar su eficiencia. No obstante, debe tenerse en cuenta que la competitividad de una empresa dependerá del patrón organizativo de la sociedad en su conjunto.
3. La interacción de los parámetros de relevancia competitiva y de los factores determinantes de competitividad es lo que genera ventajas competitivas.

Los países más competitivos disponen de:

1. Estructuras que promueven la competitividad desde el nivel meta (creación de consensos sociales, aprendizaje e innovación, capacidad de la sociedad para organizarse e integrarse, capacidad de los actores para interactuar).

2. Un contexto de políticas macroeconómicas e instituciones que estimulan la estabilidad económica, los equilibrios macroeconómicos básicos y el buen desempeño de las empresas.
3. Un espacio meso-intermedio en el que negocian e interactúan las empresas y el gobierno. La política comercial de protección a la producción nacional, los subsidios y los programas públicos de transferencia de tecnología son deseables si son permanentes en el tiempo y ayudan a que las empresas incrementen su competitividad y puedan minimizar su dependencia del apoyo gubernamental.
4. Y finalmente, al nivel macroeconómico se dispone de numerosas empresas que procuran alcanzar eficiencia, calidad, flexibilidad y rapidez de reacción y están en buena parte articuladas en redes de cooperación.

Las formulaciones en torno al concepto de competitividad sistémica parten del cuestionamiento al enfoque neoliberal de política económica predominante en la última parte del siglo XX, y bajo el cual la responsabilidad de la competitividad se deja primordialmente en manos de las empresas. En efecto, dentro de las teorías neoliberales y bajo el esquema de industrialización orientado a la exportación, la competitividad se identifica con la capacidad exportadora que tiene una economía:

“competitividad es la capacidad de un país, un sector o una empresa particular, de participar en los mercados externos”. El enfoque sistémico plantea que la competitividad industrial no surge espontáneamente al modificarse el contexto macro, ni se crea recurriendo exclusivamente al espíritu de empresa a nivel micro (Montegut, 2006; Dussel Peters, 2004; Cordero 2003).

Es más bien es el producto de un patrón de interacción compleja y dinámica entre el Estado, las empresas, las instituciones intermediarias y la capacidad organizativa de una sociedad. Es decir, el nuevo patrón de competitividad reúne ventajas competitivas basadas en conocimiento y tecnología, en tanto que van perdiendo importancia las ventajas competitivas basadas en la dotación de factores. En el seno de las empresas se van imponiendo nuevas estructuras organizativas derivadas de conceptos de organización menos jerarquizados (trabajo en equipo, descentralización de procesos de decisión subsidiados, desagregación de empresas grandes en unidades estratégicas). Las firmas operan dentro de redes tecnológicas creadas por ellas mismas (complejo industrial, clúster, etc.). Las nuevas tecnologías conducen a reestructurar viejas ramas industriales y a crear nuevas, posibilitando asimismo procesos sustitutos que desvalorizan materias primas tradicionales (fibra de vidrio en vez de cobre, nuevos materiales en vez de acero y aluminio).

La competitividad de las empresas se basa finalmente en una organización social, en cuyo seno se generan ventajas competitivas en función de la interacción de múltiples parámetros de relevancia en el sistema o estructural (Esser, 1996)

La innovación representa un factor central para alcanzar el desarrollo económico, representa un factor central para alcanzar el la transición de un mercado interno protegido a una economía abierta de elevar la eficiencia o salir del mercado. Su base es una organización empresarial capaz de activar la capacidad de aprendizaje e innovación todas las áreas operativas de una empresa y en redes de colaboración orientadas a la innovación y apoyadas por diversas instituciones en un contexto institucional con capacidad para fomentar la innovación (Solleiro, 2005)

En síntesis, la competitividad para ambas escuelas, entendida como *“La capacidad de una empresa para mantener o reforzar su participación lucrativa en el mercado de exportaciones, se funda en nuevas estrategias empresariales, en el aumento sostenido de la productividad, en la capacidad empresarial para participar en negociaciones con diversas instituciones y empresas de su entorno, y en la existencia de un ambiente competitivo determinado por el tejido empresarial y de consumidores existentes en el mercado y las políticas impulsadas por gobiernos nacionales y alianzas económicas regionales”*.

Es decir, *“La competitividad es un concepto multidimensional que involucra la habilidad para exportar, el uso eficiente de los factores de producción y de los recursos naturales y el incremento de la productividad, el cual garantiza la elevación en el nivel de vida y el diseño de estrategias internacionales se basa en la interacción entre las ventajas comparativas de los países y las ventajas competitivas de las empresas”* (Kogut, 1985)

Por lo tanto, el concepto de competitividad puede ser analizado a partir de los atributos en tres niveles La empresa o firma, la industria o un sector de ella y la nación (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Atributos de las empresas, Industria y Naciones hacia la competitividad (Banerjee, 2004)

Firma o empresa	Industria	Nación
<ol style="list-style-type: none"> 1. Posiciones específicas de los activos (es decir, tecnológicos, financieros, reputación, etc.). 2. Los procesos organizativos y de gestión (es decir, la coordinación, la integración, el aprendizaje, la reconfiguración). 3. Factores organizativos – énfasis en objetivos y recursos humanos 4. Trayectoria (historia de la empresa). 5. Tamaño de la empresa (ventas). 6. Diversidad de cuota de mercado (como una medida de la heterogeneidad y las diferencias de eficiencia entre las empresas). 7. Rentabilidad (diferencia de cuota de mercado como consecuencia de las diferencias de tecnología, publicidad, diferenciación de productos entre empresas). 8. Tasa de retorno a largo plazo (sostenibilidad) y (cuota de mercado como un activo). 9. Productividad (a través de economías de escala y de alcance). 10. Grado de multinacionalidad. 11. Porcentaje de la inversión extranjera y tasa de empleo 12. I + D. 13. Estrategias individuales de las empresas. 14. El poder de mercado que proporciona el estatus dominante de la empresa. 15. Grado de diversificación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concentración de la industria (y barreras de entrada). 2. Estructura de la industria. 3. Factores contextuales de la Industria <ul style="list-style-type: none"> - Edad y madurez de la Industria; - Estándar industrial, depreciación y métodos de valoración - Innovación/I+D. 4. Tecnología de la Industria y la tasa de cambio. 5. Membrecías de la Industria 6. Productividad de la Industria. 7. Capacidad instalada. 8. Fortaleza de la industria en relación con proveedores y clientes. 9. Intensidad de la competencia. 10. Crecimiento de la demanda. 11. Tasa de crecimiento de la Industria. 12. Amenaza de sustitutos. 13. Estabilidad de la Industria. 14. Relación Concentración / rentabilidad 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tamaño del país de origen 2. Recursos naturales y los recursos creados (en activos). 3. Productividad (como una medida de la eficacia de la mano de obra y el capital empleado). 4. Tasa de crecimiento del PIB. 5. instalaciones e infraestructura. 6. Política industrial. Políticas de bienestar Social y económico. 7. Naturaleza de gobierno. 8. Naturaleza de las instituciones. 9. Opinión pública y los grupos de interés. 10. Capacidad y capacidades para incrementar la oferta (de un producto) en un mercado más amplio.

En relación a la empresa, pueden clasificarse en cuatro niveles de competitividad, según las características que reflejan sus capacidades administrativas, operativas y tecnológicas. Esta clasificación expone también el tipo de prácticas predominantes, que parten de un nivel elemental (nivel emergente) y se desplazan hacia mejores prácticas hasta llegar a los estándares de excelencia internacional (nivel de clase mundial) (Cuadro 1.3).

Cuadro 1.3. Clasificación de empresas según la competitividad (Solleiro, 2005)

Característica	Empresa			
	Emergente	Confiable	Componente	Clase mundial
Prioridad	Supervivencia	Diferenciación	Innovación	Liderazgo
Mejores prácticas	Sistemas gerenciales administrativos	Mejora continua y benchmarking	Desarrollo de nuevos productos	Obsolescencia de productos acelerada
Cobertura de mercado	Local	Nacional	Región Internacional	Global
Nivel de su administración	Operación	Calidad y exportación	Calidad y exportación	Gestión tecnológica
Capacidad tecnológica	Imitación	Adopción y/o mejora	Desarrollo	Licenciamiento
Actitud frente al cambio	Reacciona	Se adapta	Promueve	Origina

La competitividad de la producción de azúcar, en las actuales condiciones del mercado liberalizado, sólo pueden ser explicadas mediante un análisis de las condiciones físicas, económicas y políticas y la evolución de los diferentes factores de producción, es decir: tamaño de la explotación (producción de materia prima procesamiento), rendimientos cañeros y azucareros, eficiencia de los procesos en campo, fábrica y comercialización y de los costos de producción de caña, de recuperación de azúcar y de almacenamiento y distribución (Record, 2005; Zimmermann, 2002; Sobrino 2002) (Cuadro 1.4).

Cuadro 1.4. Factores competitivos de la industria azucarera (Zimmermann, 2002; Fry, 1998).

Factores de localización	Campo cañero	Ingenio azucarero
Físicos Temperatura Régimen de Lluvia Topografía	Rendimiento de caña y azúcar Riego/drenaje Mecanización agrícola	Duración de la molienda (zafra) Capacidad Instalada Producción de azúcar Rendimiento de fábrica Estándares ambientales
Económicos Costo de los factores de producción (Tierra, trabajo y capital) productividad	Salarios Tasas de interés Costo del predio Costos unitarios	Salarios Tasas de interés Costos unitarios Productividad Comercio nacional e internacional
Políticos Subsidios Precio del producto Insumos Impuestos Regulaciones ambientales Sociales	Precio final de caña Costos de los insumos (agua, fertilizantes etc.) Impuestos de otros ingresos Impuesto a la propiedad Impuestos ambientales	Precio final de caña y azúcar Costos de los insumos (agua, energía etc). Costos sociales (seguridad social, vivienda, jubilaciones etc) Costos derivados de regulación por emisiones y descargas contaminantes

La Organización Internacional del Azúcar (ISO) menciona que la medición de la competitividad de la industria azucarera se basa fundamentalmente en los análisis de las cuotas en el mercado azucarero internacional que se caracterizan en términos absolutos y proporcionales, como resultado de la productividad y eficiencia en términos de rendimientos y costos de producción de la agricultura y la industria, expresados como el rendimiento de fábrica (%), de campo (t. caña/ha) o agroindustrial (t. azúcar/ha), precios pagados a los productores por la caña de azúcar entregada a los ingenios azucareros y los costos de materias primas para su procesamiento.

Estas variables proporcionan datos sobre cantidades de caña de azúcar realmente transformada en azúcar. A pesar que estos datos y/o información de productividad, rendimiento, y costos de la caña de azúcar y sacarosa no se pueden considerar como óptimos índices comparativos de rentabilidad y competitividad de la industria azucarera, son el único conjunto de datos

coherentes que a nivel internacional se encuentran actualmente disponibles para investigaciones de la dinámica del sector, como paso necesario para proyecciones a largo plazo. Es decir, en palabras de CENICAÑA, (1995) el análisis de las tendencias en la evolución de las variables de producción generadas en la industria azucarera, permite visualizar los cambiantes escenarios en donde se ha movido el sector, lo que constituye una herramienta para dirigir de manera acertada la evolución de la productividad en el futuro, con base en las mejores oportunidades que se presenten. Sin embargo, para México, hay muy poca información disponible sobre los costos de producción de la caña entre las regiones y para los predios de diferentes tamaños.

1.6. Competitividad de agroindustria de la caña de azúcar de México en el marco de la cuota de mercado

La demanda de azúcar en México (en sus diversos tipos y presentaciones) se integra por el azúcar que se produce en los ingenios azucareros, las exportaciones, importaciones y el consumo a nivel doméstico en forma directa y el que se destina a otras industrias. Ambos tipos de consumo presentan diferente comportamiento a lo largo del tiempo y responden de manera diferente a las variables económicas (precio del azúcar e ingreso disponible per cápita). A partir de la zafra 2000/2001 y hasta la 2007/2008 (anterior a la apertura comercial dentro del TLCAN) tanto la producción como el consumo han tenido un incremento constante, así como las importaciones no así las exportaciones que cayeron significativamente desde 2000 hasta incrementarse en 2004 para después volver a caer a partir de 2007 (Figura 1.6).

El mercado nacional se ha ido moviendo hacia el azúcar estándar, con una participación del 65 %, mientras que el restante 35 % corresponde al azúcar refinado (CNIAA, 2010). Aproximadamente el 40 % tiene como destino otras industrias de alimentos que lo utilizan como insumo (frutas y verduras procesadas, confitería, panadería, café soluble, refrescos y bebidas, levaduras y productos de fermentación, condimentos, cereales y botanas). El 60 % restante es para el consumo directo, a través del mercado central de abastos, el autoservicio y el comercio minorista al igual que los demás derivados de la caña de azúcar (melazas, ron, etanol y bagazo) que tienen fundamentalmente un mercado nacional (Cuadro 1.5)

1.6.1. Exportaciones de los derivados de la caña de azúcar

De acuerdo a INEGI (2009) para la zafra 2007/2008 y subsecuentes, las exportaciones de azúcar en todos sus tipos (crudo, blanco, refinado, estándar y blanco) y otros derivados de la caña (ron, melazas, etanol) (Figuras 1.8 y 1.9) presentaron una baja diversificación de mercados. Del total de azúcares

derivados de la caña de azúcar; Estados Unidos de América dentro del TLCAN³ fue el principal destino del 94.7 % de las exportaciones totales de los cuales, el Azúcar de polarización superior a 99.4 pero inferior a 99.5 grados (Blanco corriente), represento el 17.6 %, Azúcar de polarización inferior a 96 grados el 0.25 % (mascabado), Azúcar de polarización inferior a 96 grados con adición de aromatizante o colorante (mascabado) el 20.9 %, Azúcar de polarización superior a 96 pero inferior a 99.4 grados (crudo o estándar) el 12.9 %, Azúcar de polarización igual o superior a 99.5 pero inferior a 99.7 grados el 14.9 % (blanco especial), Azúcar de polarización igual o superior a 99.7 pero inferior a 99.9 grados (refinado) 20 % y otros tipos de azúcar 13.5 %. Los demás destinos del azúcar mexicano fueron: Corea Del Sur, Puerto Rico, Belice, Taiwán, Cuba, Alemania, Jamaica, Suiza y Costa Rica. Las exportaciones del año 2008 representaron el 3.54 % de la producción nacional de azúcar en ingenios azucareros, lo cual pone de manifiesto que la industria azucarera nacional no tiene una capacidad neta de exportación (Brasil exporto en 2007 19 millones de toneladas de azúcar refinado y 3.6 billones de litros de etanol, el 63 % y 20.5 % de su producción total de 414 ingenios sucroalcoholeros).

Para los demás derivados de la caña; las melazas tuvieron como destino principal Estados Unidos de América 55.8 %, Barbados, 13.6 %, Puerto Rico 13.5 %, Gran Bretaña 13 % y Trinidad & Tobago 4.1 %. La exportación representa el 7.35 % de la producción nacional de Miel A 85° Brix Total en ingenios azucareros. El etanol o alcohol etílico comercializado de 80 °G.L. y más tuvo como destino principal: Canadá 45.8 %, Jamaica 39.7 %, Estados Unidos de América 9.9 %, el resto tuvo como destino Alemania, Guatemala, Honduras, El Salvador, Francia y Chile. En total las exportaciones representaron el 0.04 % de la producción nacional de etanol en ingenios azucareros. Y en relación al ron y aguardiente, las exportaciones e llevaron a cabo en 27 países Alemania, Angola, Argentina, Aruba, Bahamas, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos de América, Guatemala, Honduras, Italia, Letonia, Panamá, Perú,

³ Para Calva (2004) los pésimos resultados de intercambio comercial de México dentro del TLCAN derivados del pésimo ajuste estructural del sector agropecuario durante dos décadas con una apertura comercial unilateral y abrupta, y su severa reducción de la participación del estado en el fomento económico sectorial, están desde luego asociados a las profundas asimetrías, en tecnología, productividad, recursos naturales y políticas agrícolas que existen entre México y sus vecinos del Norte. Dentro del TLCAN la dinámica que han seguido ambos sectores productores de edulcorantes hace pensar que la situación de descapitalización del sector cañero mexicano, pero con excedentes en la producción de azúcar (sobrecumulación) es el complemento preciso para el acomodo en el mercado norteamericano. Esto evidencia, una vez más, que las políticas neoliberales producen en los países desarrollados una agresividad exportadora del sector, mientras que en los subdesarrollados generan la debilidad necesaria para que los aparatos productivos y los mercados establezcan relaciones de mayor dependencia agrícola estructural con las economías más desarrolladas.

Polinesia Francesa, Reino Unido, Uruguay, Venezuela, Brasil, Nicaragua, Nueva Zelanda y Suiza.

Cuadro 1.5. Mercado del azúcar en México (SIAP, 2009)

Estado	Ingenio	Destino	Lugar	Ingenio	Destino	Lugar	
Veracruz	El Higo	Coahuila	Central de Abasto de La Laguna, Torreón	Zapoapita	Coahuila	Central de Abasto de La Laguna, Torreón	
		Durango	Central de Abasto "Francisco Villa"		Durango	Central de Abasto "Francisco Villa"	
		Nuevo León	Central de Abasto de Guadalupe, Nvo. León Mercado de Abasto "Estrella" San Nicolás de los Garza		Nuevo León	Central de Abasto de Guadalupe, Nvo. León Mercado de Abasto "Estrella" San Nicolás de los Garza	
		Tamaulipas	Módulo de Abasto de Tampico, Madero y Altamira		Veracruz	Mercado de Poza Rica, Ver.	
	Central Progreso	D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F	La Providencia	D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F	
		Edo México	Central de Abasto de Toluca	Motzorongo	D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F	
		Puebla	Central de Abasto de Puebla		Guanajuato	Módulo de Abasto Irapuato	
		Querétaro	Mercado de Abasto de Querétaro		Querétaro	Mercado de Abasto de Querétaro	
	Veracruz	Mercado de Abasto de Querétaro	Veracruz		Mercado Malibrán		
	El Modelo	Veracruz	Centros Mayoristas de Xalapa	San José de Abajo	D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F	
		Hidalgo	Central de Abasto de Pachuca		Michoacán	Mercado de Abasto de Morelia	
		Puebla	Central de Abasto de Puebla		Oaxaca	Módulo de Abasto de Oaxaca	
		Veracruz	Centros Mayoristas de Xalapa		Puebla	Central de Abasto de Puebla	
	Cia. Ind. Azucarera, Mahuixtlan	Hidalgo	Central de Abasto de Pachuca	La Gloria	Hidalgo	Central de Abasto de Pachuca	
		Oaxaca	Módulo de Abasto de Oaxaca		Veracruz	Centros Mayoristas de Xalapa	
		Veracruz	Mercado de Poza Rica, Ver.		El Potrero	D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F
		San Cristóbal	D.F.			Central de Abasto de Toluca	Edo México
	San Luis Potosí	Alianza Popular	Yucatán	Central de Abasto de Mérida	San Miguel Naranjo	Michoacán	Mercado de Abasto de Morelia
			Yucatán	Central de Abasto de Mérida		Puebla	Central de Abasto de Puebla
			San Nicolás	Módulo de Abasto de Oaxaca		Puebla	Central de Abasto de Puebla
San Miguelito			Edo México	Central de Abasto de Toluca			
Plan de San Luis		Aguascalientes	Centro Comercial Agropecuario de Aguascalientes	San Pedro			
		Guanajuato	Central de Abasto de León Módulo de Abasto Irapuato				
		Nuevo León	Central de Abasto de Guadalupe, Nvo. León Mercado de Abasto "Estrella" San Nicolás de los Garza				
		Querétaro	Mercado de Abasto de Querétaro				
Jalisco	José Ma. Martínez	Durango	Central de Abasto "Francisco Villa"	Plan de Ayala	Durango	Central de Abasto "Francisco Villa"	
		Nuevo León	Mercado de Abasto de Santa Catarina		Nuevo León	Mercado de Abasto "Estrella" de San Nicolás de los Garza	
		Aguascalientes	Centro Comercial Agropecuario de Aguascalientes		Aguascalientes	Centro Comercial Agropecuario de Aguascalientes	
Sinaloa	El Dorado	Jalisco	Mercado de Abasto de Guadalajara	Jose Ma. Morelos	Jalisco	Mercado de Abasto de Guadalajara	
		Tamazula	Mercado de Abasto de Morelia		Nayarit	Nayarabastos de Tepic	
Nayarit	El Molino	Michoacán	Mercado de Abasto de Morelia	Melchor Ocampo	Nayarit	Mercado de Abasto "Adolfo López Mateos" de Tepic Nayarabastos de Tepic	
		Baja California	Central de Abasto INDIA, Tijuana		La Primavera	Sinaloa	Central de Abasto de Culiacán
Tabasco	Aszuremex	Baja California Sur	Unión de Comerciantes de La Paz	Puga	Jalisco	Mercado de Abasto de Guadalajara	
		Nayarit	Mercado de Abasto "Adolfo López Mateos" de Tepic		Aguascalientes	Centro Comercial Agropecuario de Aguascalientes	
Colima	Pujitlic	Sonora	Central de Abasto de Cd. Obregon	Santa Rosalia	Jalisco	Mercado de Abasto de Guadalajara	
		Campeche	Mercado "Pedro Sáinz de Baranda", Campeche		Veracruz	Central de Abasto de Minatitlán	
Tamaulipas	Aarón Sáenz	Tabasco	Central de Abasto de Villahermosa		Tabasco	Central de Abasto de Villahermosa	
		Veracruz	Central de Abasto de Minatitlán				
		Colima	Centros de distribución de Colima	Huixtla	Oaxaca	Módulo de Abasto de Oaxaca	
		Chiapas	Central de Abasto de Tuxtla Gutiérrez		Veracruz	Centros Mayoristas de Xalapa	
Oaxaca	Módulo de Abasto de Oaxaca	Chihuahua	Central de Abasto de Chihuahua				
Durango	Central de Abasto "Francisco Villa"	Tamaulipas	Módulo de Abasto de Tampico, Madero y Altamira				
Puebla	Atencingo	Coahuila	Central de Abasto de La Laguna, Torreón	Calipam	Oaxaca	Módulo de Abasto de Oaxaca	
		Chihuahua	Central de Abasto de Chihuahua				
Morelos	Emiliano Zapata	Nuevo León	Mercado de Abasto "Estrella" de San Nicolás de los Garza				
		Puebla	Central de Abasto de Puebla				
		Guerrero	Central de Abastos de Acapulco				
		Morelos	Central de Abasto de Cuautla				
Oaxaca	Pablo Machado	D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F	Casasano	Edo México	Central de Abasto de Toluca	
		Edo México	Central de Abasto de Toluca		Morelos	Central de Abasto de Cuautla	
Campeche	La Joya	Morelos	Central de Abasto de Cuautla	Santa Clara	Hidalgo	Central de Abasto de Pachuca	
		Querétaro	Mercado de Abasto de Querétaro				
Quintana Roo	San Rafael de Pucte	Baja California Sur	Unión de Comerciantes de La Paz				
		D.F.	Central de Abasto de Iztapalapa D F				
Michoacán	Pedernales	Yucatán	Central de Abasto de Mérida				
		Yucatán	Central de Abasto de Mérida				
		Yucatán	Central de Abasto de Mérida				
		Quintana Roo	Mercado de Chetumal, Quintana Roo				
		Yucatán	Central de Abasto de Mérida				

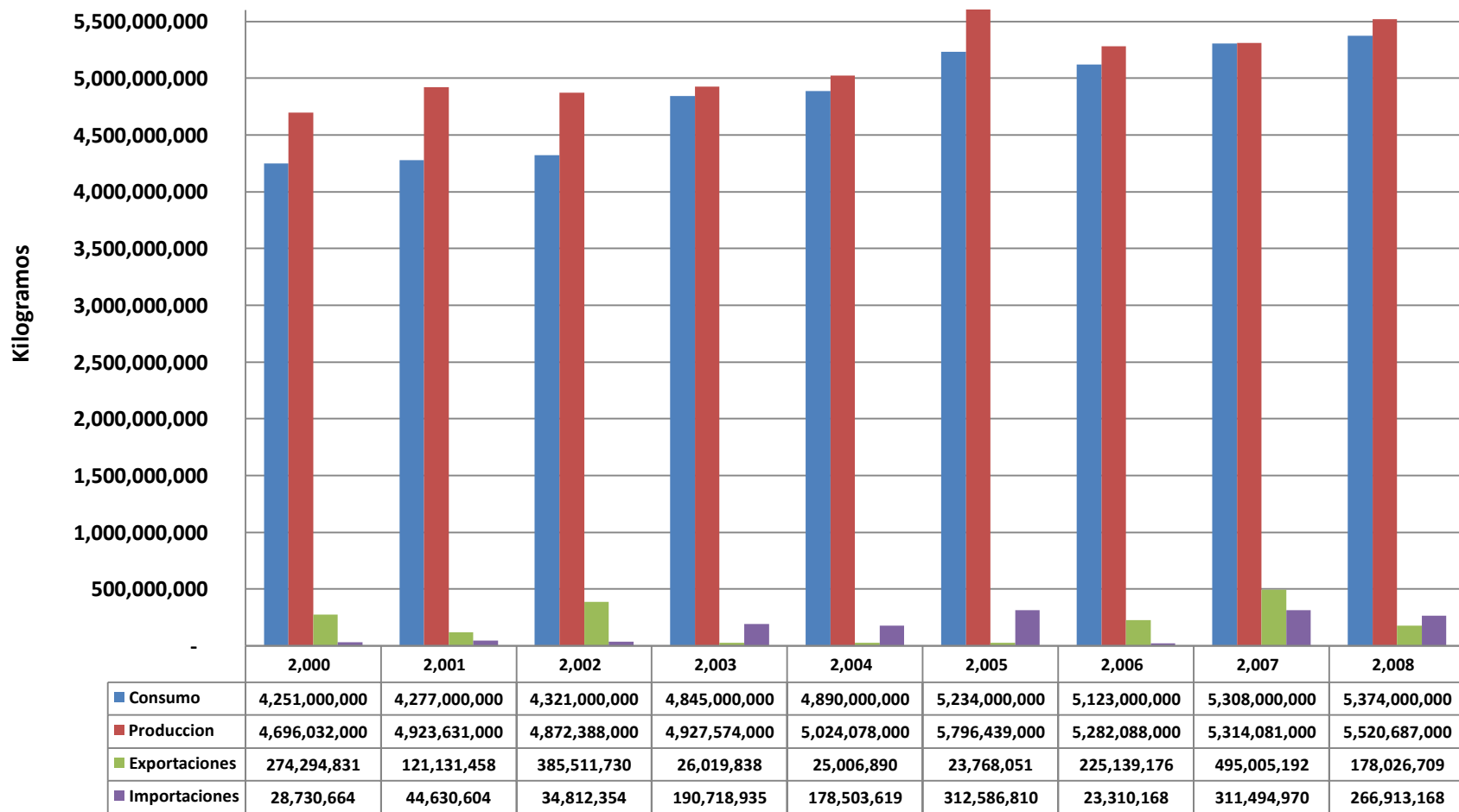


Figura 1.8. Balance Azucarero de México zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

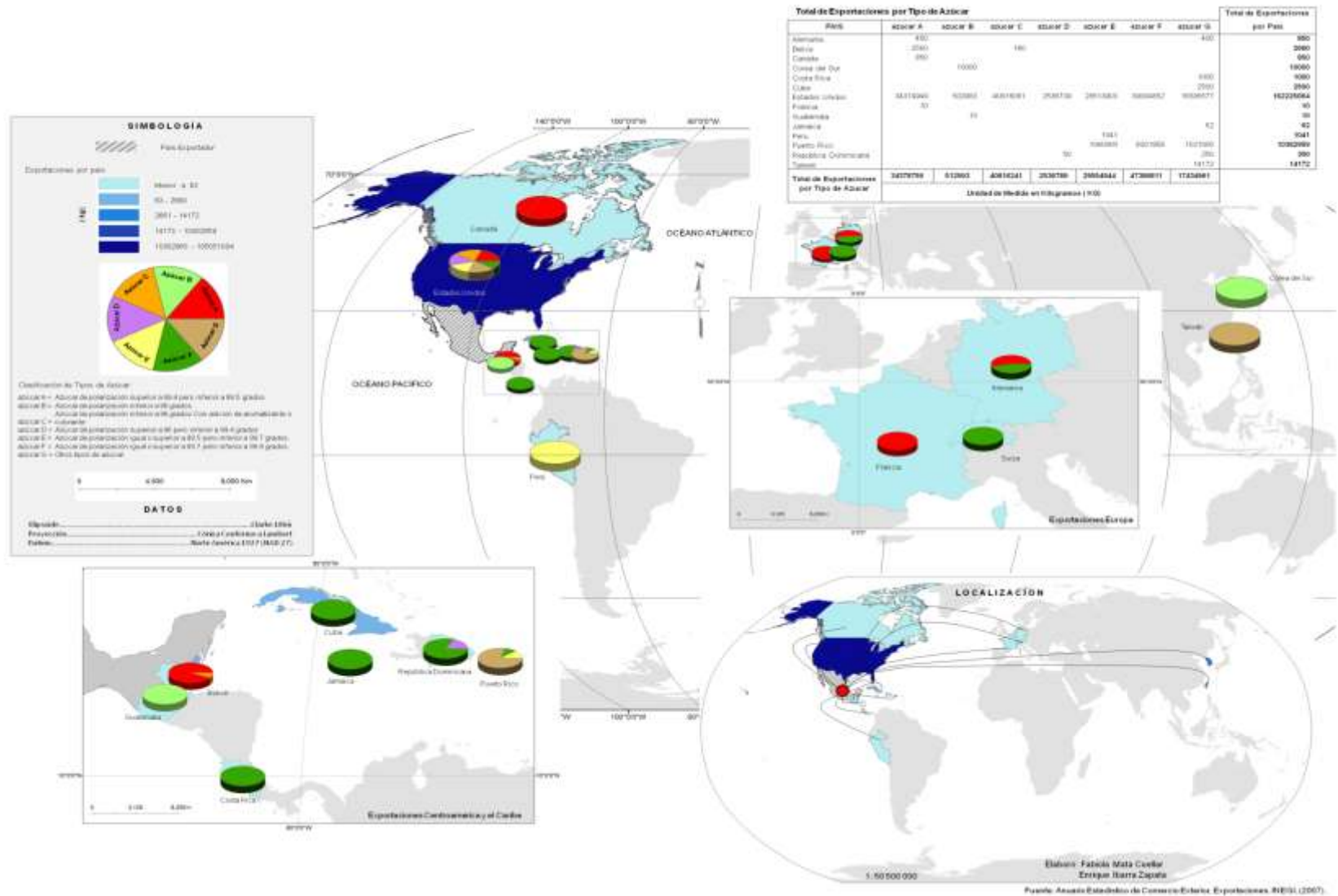


Figura 1.9. Exportaciones de azúcar (INEGI, 2009)

1.6.2. Importaciones de derivados de la caña de azúcar

INEGI (2009) reportó que para la zafra 2007/2008 las importaciones de azúcar y de otros derivados de la caña el principal país proveedor fue Estados Unidos de América con el 92.8 % de las importaciones totales de azúcar y el 90 % de las importaciones de JMAF de los cuales, el azúcar de polarización superior a 99.4 pero inferior a 99.5 grados (Blanco corriente), representó el 99.84 %, azúcar de polarización superior a 96 pero inferior a 99.4 grados (crudo o estándar) el 75.4 %, azúcar de polarización igual o superior a 99.5 pero inferior a 99.7 grados el 7.3 % (blanco especial), azúcar de polarización igual o superior a 99.7 pero inferior a 99.9 grados (refinado) 82.84 % y otros tipos de azúcar no fructosa 95.5 %. Otros proveedores significativos son Colombia con 68 % y Australia con el 23 % del crudo, y Guatemala con el 55.6 % del refinado y El Salvador con 23 % del blanco especial o superior. Los demás proveedores del mercado mexicano fueron: Brasil, Canadá, Paraguay, Nicaragua, Jamaica entre otros. De todos los tipos de azúcar importados el refinado corresponde al 98.3 % del total (Figuras 1.10 al 1.12).

Para los demás derivados de la caña; las melazas tuvieron como proveedor principal Estados Unidos de América. El etanol o alcohol etílico fue suministrado por: Brasil 75.6 %, Estados Unidos de América 19 %, el resto provino de Argentina, Polonia, Alemania, España, China y Francia. Y en relación al ron y aguardientes, las importaciones llegaron de Jamaica 47.2 %, Cuba 19.1 %, Nicaragua 8 %, República Dominicana 7.3 %, Bahamas 3.1 % y otros como Guatemala, Colombia, Venezuela, Estados Unidos, Canadá y más.

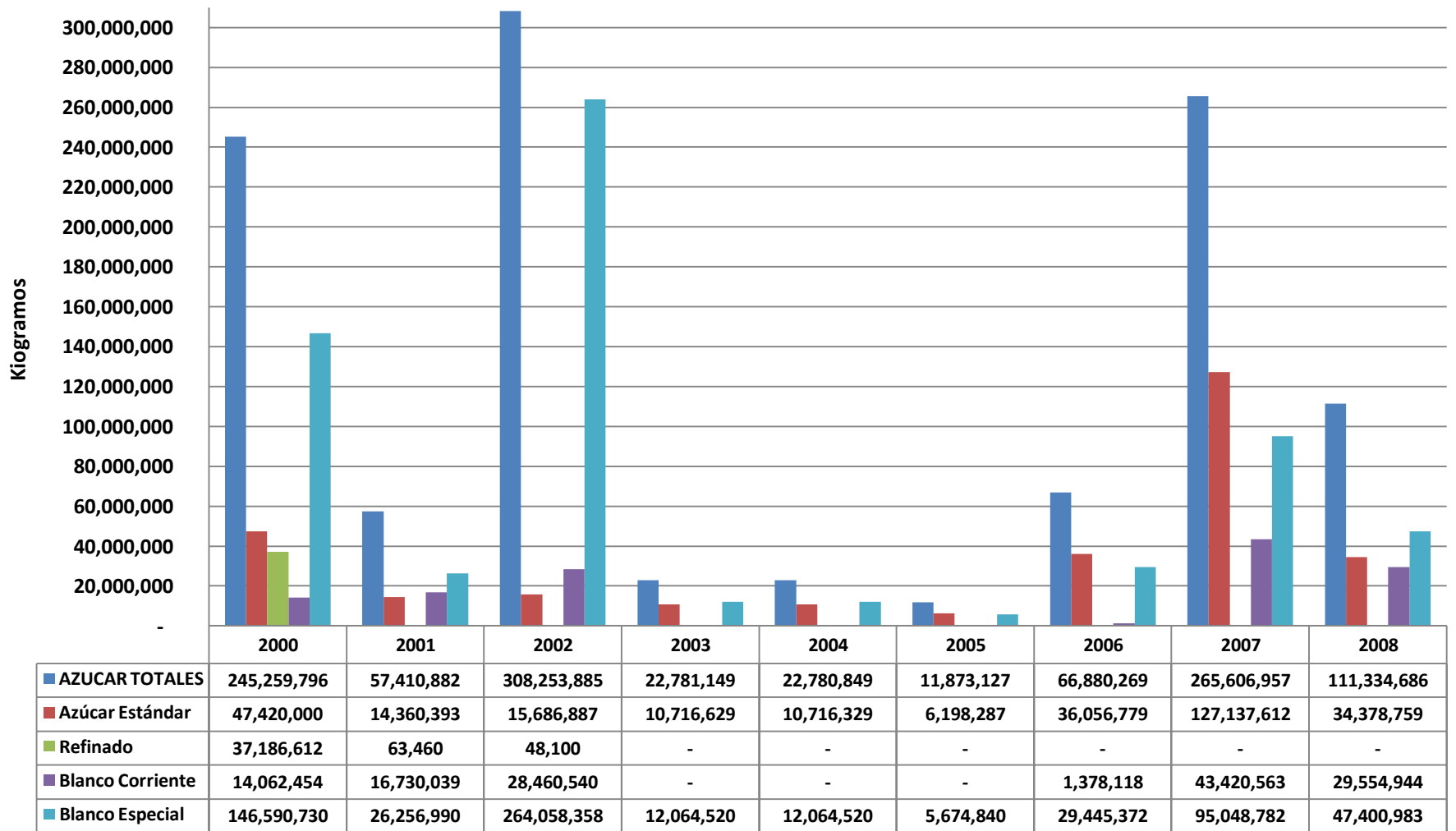


Figura 1.10. Exportaciones de Azúcar por tipo zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

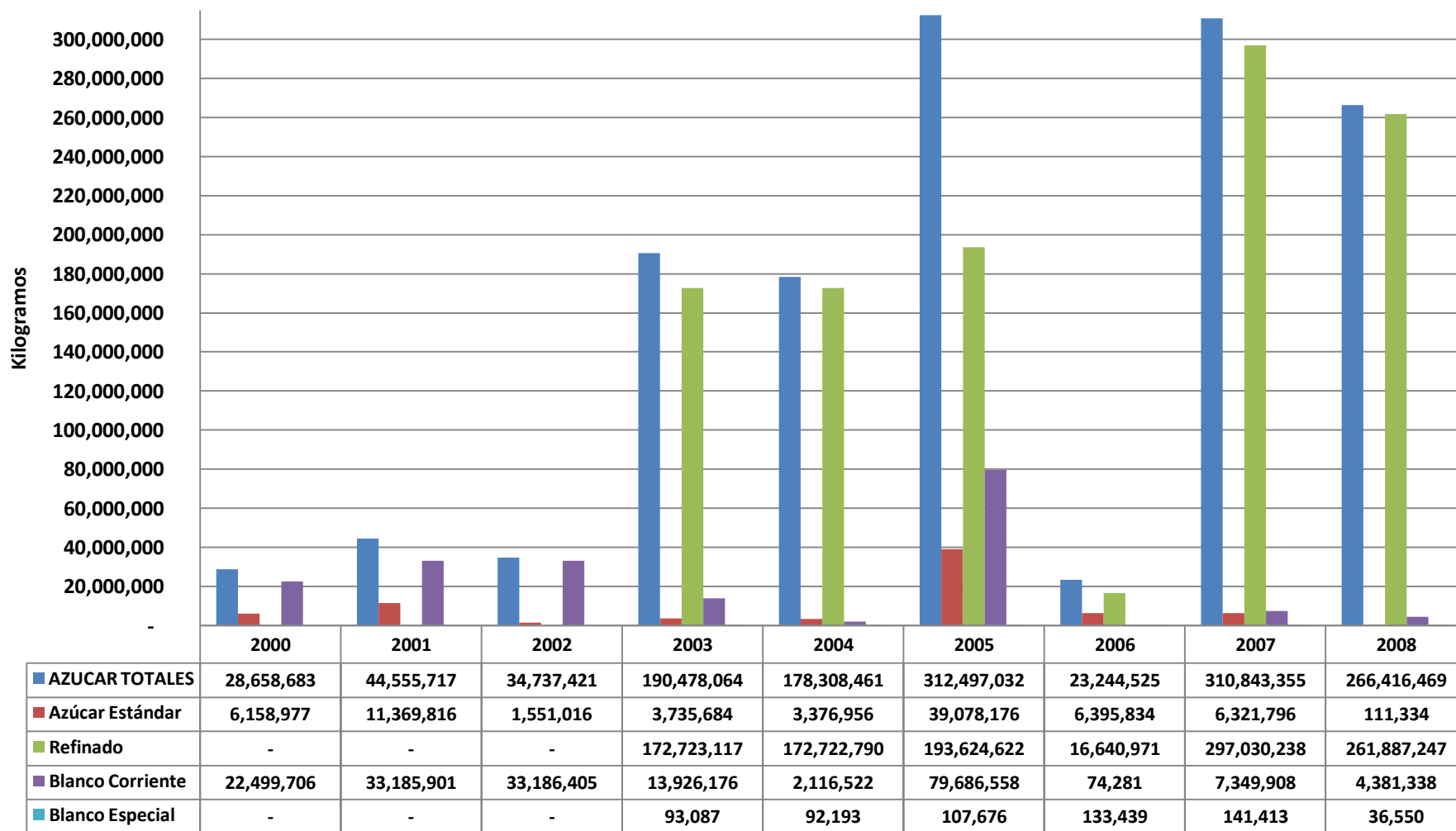


Figura 1.11. Importaciones de Azúcar por tipo zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

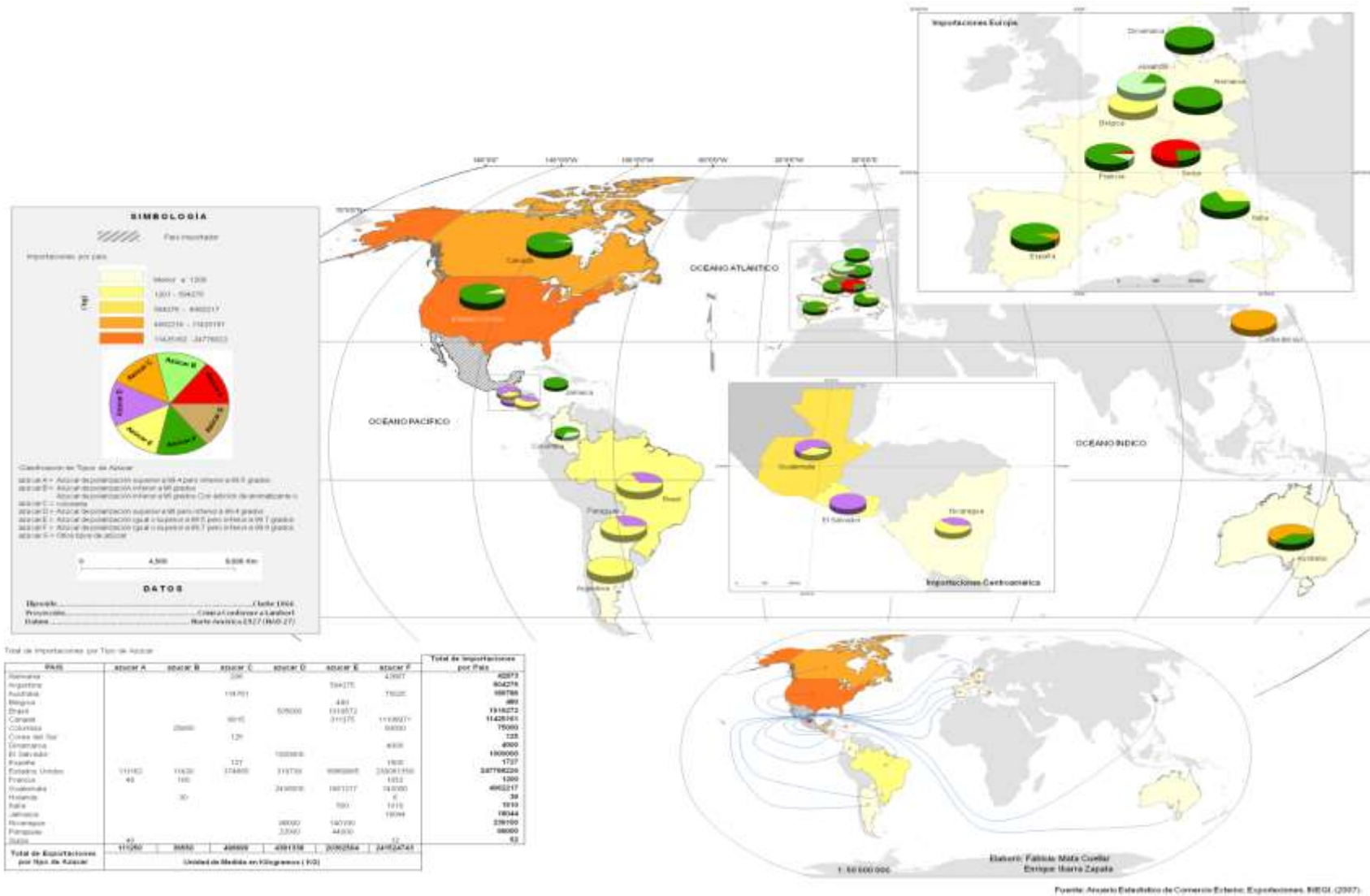


Figura 1.12. Importaciones de azúcar (INEGI, 2009)

Este comercio internacional, deja clara la falta de competitividad de la industria azucarera nacional puesto que el balance resulta con un mínimo margen entre la producción, consumo, exportaciones e importaciones (Figura 1.13) sobre todo en los años 2003, 2004, 2005 y 2008 (con una diferencia en contra de 164,699.097, 153,496.729, 288,818.759 y 88,886.459 Toneladas de azúcar respectivamente) ⁴

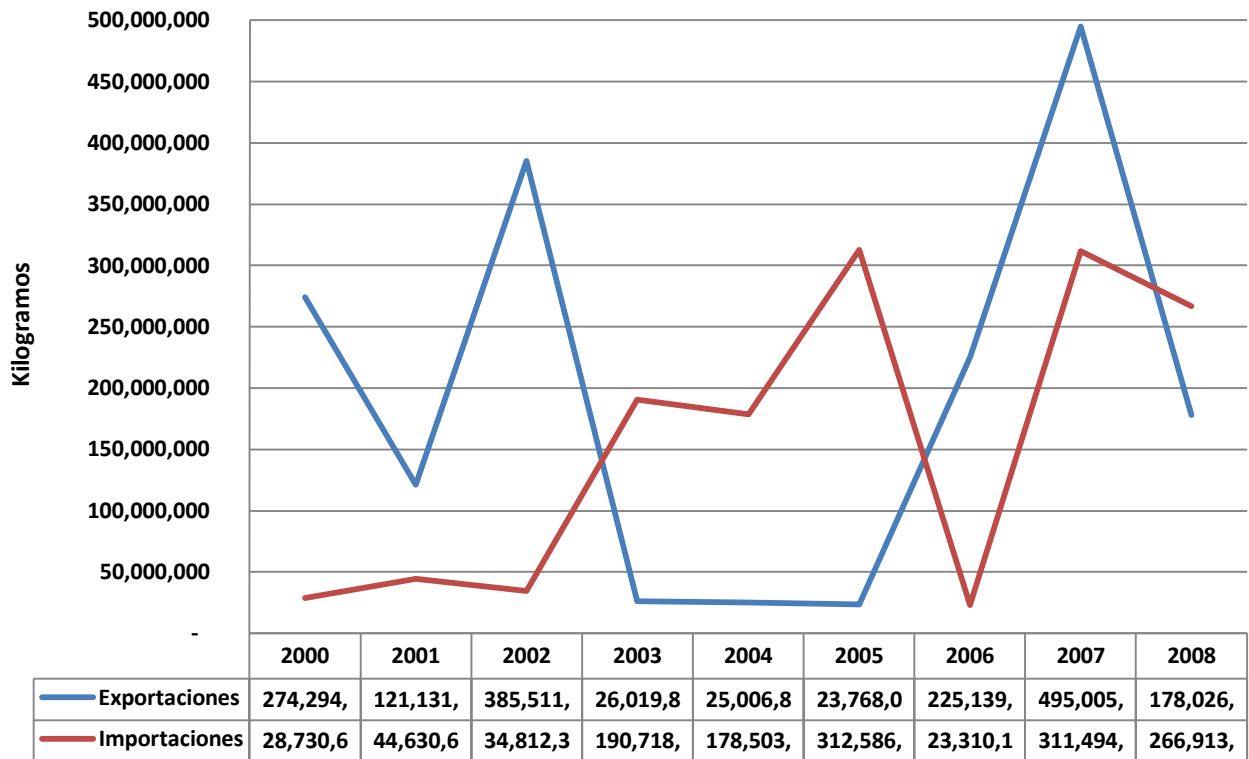


Figura 1.13. Mercado del azúcar zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

⁴ La industria azucarera mexicana posee un modelo histórico-estructural, es decir, aquel modelo que representa el funcionamiento de un sistema socioeconómico durante un período largo de tiempo en el que su estructura permanece constante; en este modelo agroindustrial tradicional de la producción de azúcar es la actividad que tipifica a diversas regiones del país y las exportaciones se basan en mercancías de bajo valor agregado y bajo contenido tecnológico (azúcar mascabado, estándar, ron blanco y melazas) cuyo intercambio por bienes de elevado valor agregado y contenido tecnológico genera una nueva forma de deterioro de los términos de intercambio satisfaciéndose así la demanda interna con la producción nacional tradicional y, sobre todo, con importaciones, generalmente de escasa calidad que compiten con dicha producción y con edulcorantes sustitutos de alta tecnología. Mientras que un modelo de desarrollo es aquel modelo que representa los pasos que debe seguir un sistema socioeconómico para transitar de un modelo histórico estructural a otro por medio de una transformación estructural, es decir, es un modelo de transformación estructural (Ayala, 2005)

La situación es similar para los demás derivados de la caña, aunque la exportación de rones y aguardiente se incrementa 45 % con relación al 2000; la importación también lo hace (106 % en relación al 2000). Las melazas redujeron su participación en las exportaciones en 35 % en relación al año 2000, así como las importaciones 99 % debido al incremento de destilerías autónomas para la producción de etanol, lo que a su vez redujo las exportaciones de etanol en 86.5 % en relación al 2000 y las importaciones 56 %, sin embargo la producción en ingenios disminuyó 71 % durante el periodo 2000/2008 al dejar de funcionar las destilerías de la mayoría de los ingenios azucareros (en 2009 sólo funcionan 3 de las 12 existentes) (Figura 1.14 al 1.16).

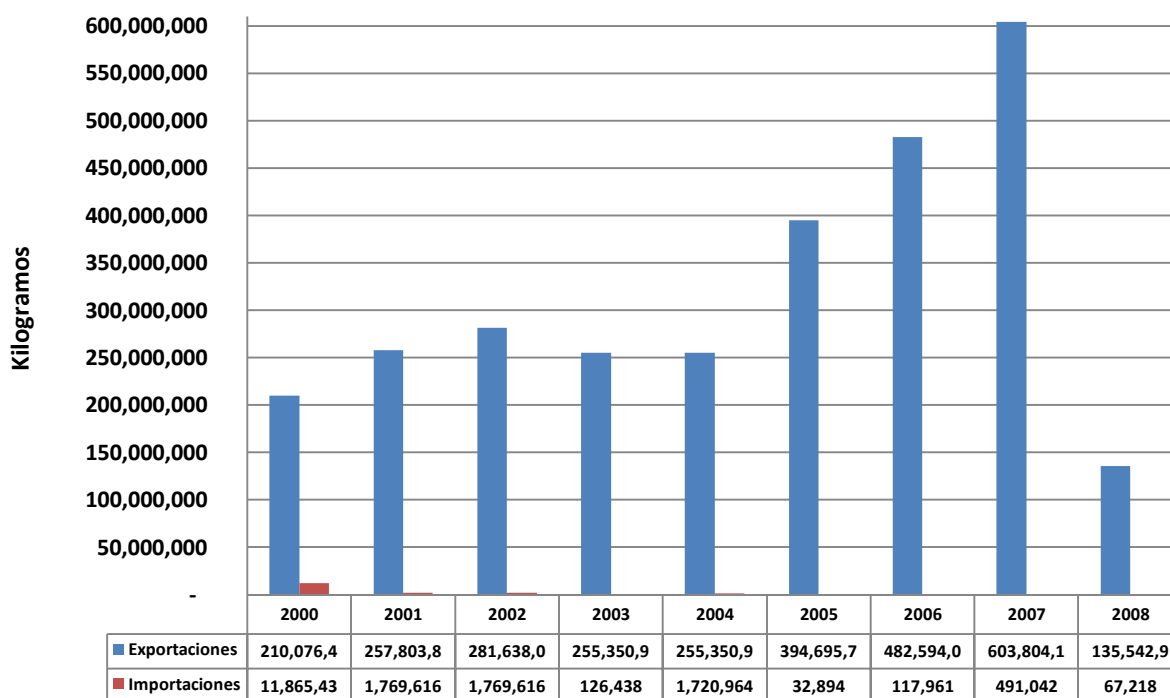


Figura 1.14. Mercado de mieles incristalizables de caña (Kg) (zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

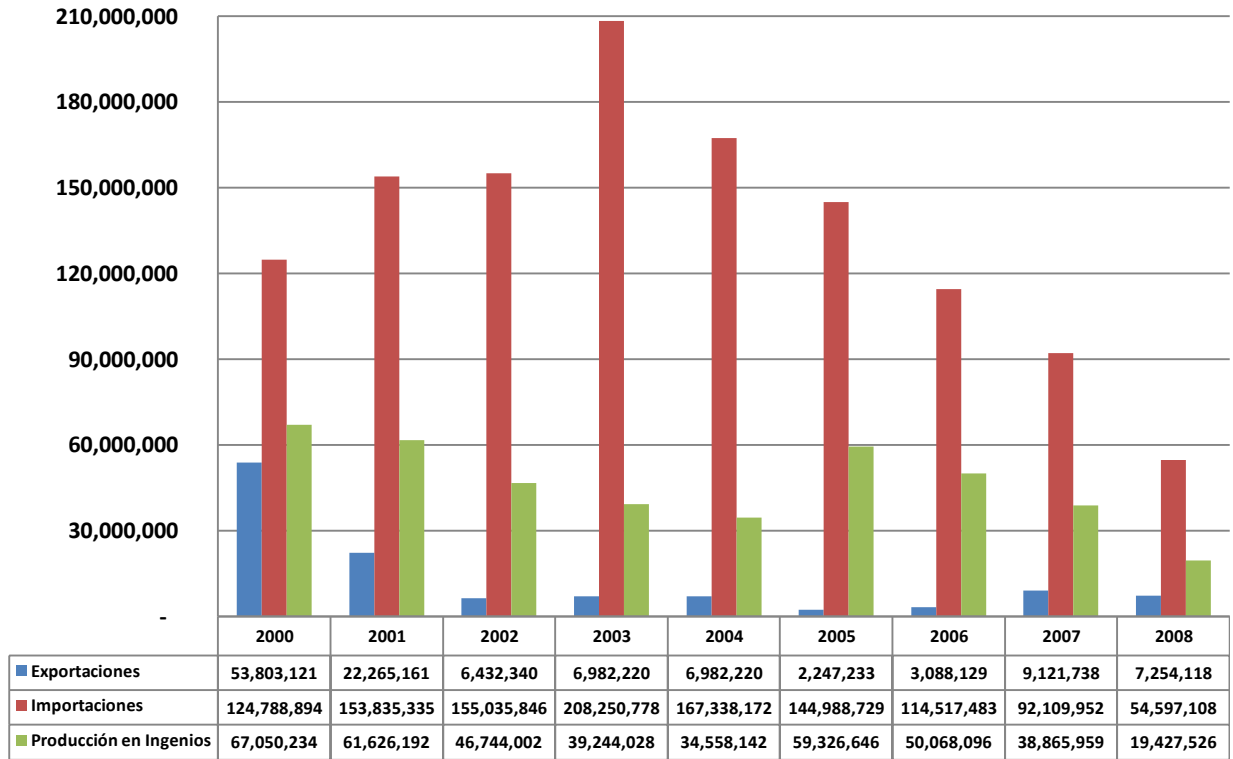


Figura 1.15. Mercado de alcohol de caña (en L) zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

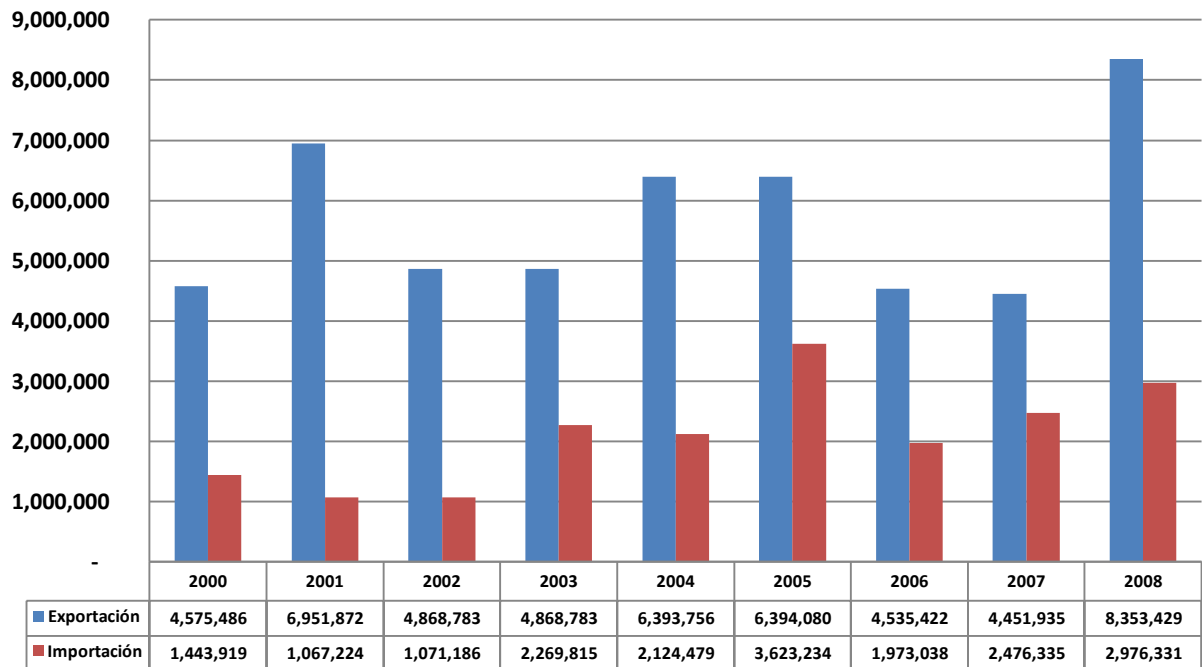


Figura 1.16. Mercado de Ron y Aguardiente de caña (en L) zafras 1999/2000-2008/2009 (INEGI, 2000, 2010)

Caso contrario resulta la importación de JMAF (HFCS siglas en ingles), que en el periodo analizado incremento su cuota de mercado 46 % con tendencia a incrementarse (Figura 1.17)

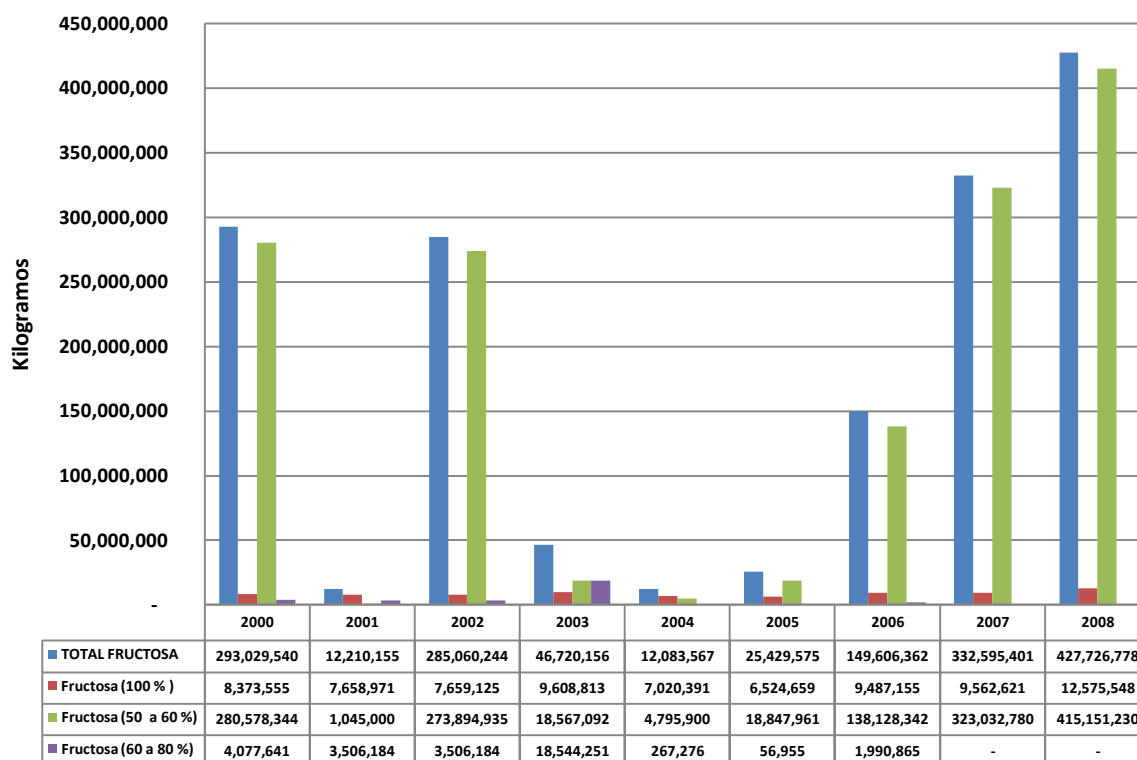


Figura 1.17. Importaciones de JMAF periodo 2000-2009 (INEGI, 2000-2010)

Hernández, (2006) menciona que México no es competitivo en el sector agroindustrial en el mercado del TLCAN, lo cual indica que cada vez es dependiente de productos agroindustriales y que la soberanía alimentaria es cada vez mas raquítica, en el caso de la industria azucarera es la rama de la agroindustria que presenta la productividad y competitividad más deficiente desde 1994 a 2004 particularmente a partir de 2002; esto se debe en parte a la baja capacidad de exportación de los años 2002 a 2006, falta de liquidez de varios ingenios para vender su producción, aunada a la escasez de los recursos crediticios que han repercutido en la productividad de los campos cañeros y en la modernización de los ingenios lo cual se manifiesta en la irregularidad de los indicadores de productividad del modelo productivo de la agroindustria en relación al promedio mundial

1.7. Análisis de competitividad de los factores productivos la agroindustria de la caña de azúcar de México

Los indicadores promedio de productividad, de la producción de azúcar de caña en los países azucareros, varían ampliamente entre las diferentes regiones e inclusive, entre las zonas productivas de estas regiones. Sin embargo, los promedios generales muestran las diferencias en las tendencias de producción que está relacionado con condiciones naturales locales, las variedades desarrolladas, la cosecha en épocas de alta concentración de sacarosa y la eficiencia de extracción en fábrica. Es decir, para ser técnicamente eficiente y competitivo en la producción de azúcar se requiere la obtención de altos rendimientos de campo (t. caña/ha, TCH y t. azúcar/Ha TAH) y fábrica (%) lo que resulta en costos de producción de caña de azúcar debidos al manejo, corte, alce, transporte y molienda de la caña necesaria para producir 1 tonelada de azúcar. A lo anterior es necesario agregar los costos por uso de agua y fertilizantes en el campo. En la fase extractiva, una industria azucarera (ingenios) eficiente es sinónimo de altos rendimientos y alta extracción en fábrica (rendimiento de fábrica) al combinar el uso de los insumos de más bajo costo con la aplicación adecuada de la tecnología para recuperar más sacarosa lo cual se representa mediante un Diagrama Isoproductivo de todos los países productores de azúcar de caña de acuerdo a la metodología de Nayamuth (2003) y CENICAÑA (Luna 1995)⁵.

En este sentido, el rendimiento agroindustrial promedio mundial de 7.2 t Azúcar/ha (FAOSTAT, 2011) se establece como punto de partida como rendimiento medio de grupo para establecer categorías basadas en este punto de referencia (+/-1 t/ha) (Cuadro 1.6), por lo tanto, la categoría promedio de países productores rendimientos de más de 6 pero menos de 8 t/ha. El grupo de productores de bajo rendimiento incluye los países donde los rendimientos están por debajo de 6 toneladas de azúcar por hectárea. El alto rendimiento de los países que tienen rendimientos superiores a 8, pero inferior a 10 t/ha. Por último, el grupo de muy alto rendimiento incluye productores, donde los rendimientos son superiores a 10 t/ha (Figuras 1.18 y 1.19).

⁵ Aunque existen diversos índices econométricos y estadísticos para evaluar la competitividad, eficiencia y productividad en el uso de estos factores (Arellano et al. 2010, Hernández 2006, FAO, 2006, Domínguez 2005, Trujillo 2002, García, 2000, Martínez, 1998, Fry, 1998, Hernández-Laos, 1992); este trabajo planteo en primer lugar, el uso de un diagrama isoproductivo o índice de productividad, de acuerdo con la metodología de Nayamuth (2003) y el Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia CENICAÑA (Luna *et al.* 1995); como método gráfico de análisis de los indicadores de productividad y competitividad técnica de la agroindustria azucarera expresados como rendimiento de fábrica (%), de campo (t caña/ha TCH) o agroindustrial (t azúcar/ha TAH). Esta técnica permite construir, por medio de la información real, un indicador para comparar cada uno y todos los ingenios azucareros, países o regiones productoras a la vez.

Cuadro 1.6. Rendimiento agroindustrial de las principales economías azucareras
(FAOSTAT, 2011)

Bajos Rendimientos (< 6 t Azúcar/ha)		Rendimiento Medio (6-8 azúcar/ha)	Rendimiento Alto (8-10 t Azúcar/ha)	Rendimiento Muy Alto (>10 t Azúcar/ha)
Barbados	Rep. Dominicana		Brasil	
Mozambique	Filipinas	Argentina	Burkina Faso	Australia
Belice	Fiji	Bangladesh	Chad	Colombia
Myanmar	Somalia	Burundi	Cote d'Ivoire	Egipto
Bolivia	Gabon	China	El Salvador	Etiopia
Nepal	Sri Lanka	Taiwán	Guatemala	Malawi
Camerún	Guinea	Costa Rica	Ecuador	Perú
Pakistán	St. Christopher	Guyana	India	Senegal
Congo	Haiti	México	Kenia	Sudan
Panamá	Suriname	Honduras	Irán	Swaziland
Cuba	Indonesia	Japón	Is. Mauritius	Zambia
Paraguay	Madagascar	Mali	Nicaragua	Zimbabwe
Vietnam	Malasia	Papúa N. G.	Sierra Leona	
Jamaica	Zaire	Tanzania	USA	
Venezuela	Trinidad &		Marruecos	
Uruguay	Tobago		Sudáfrica	
			Tailandia	

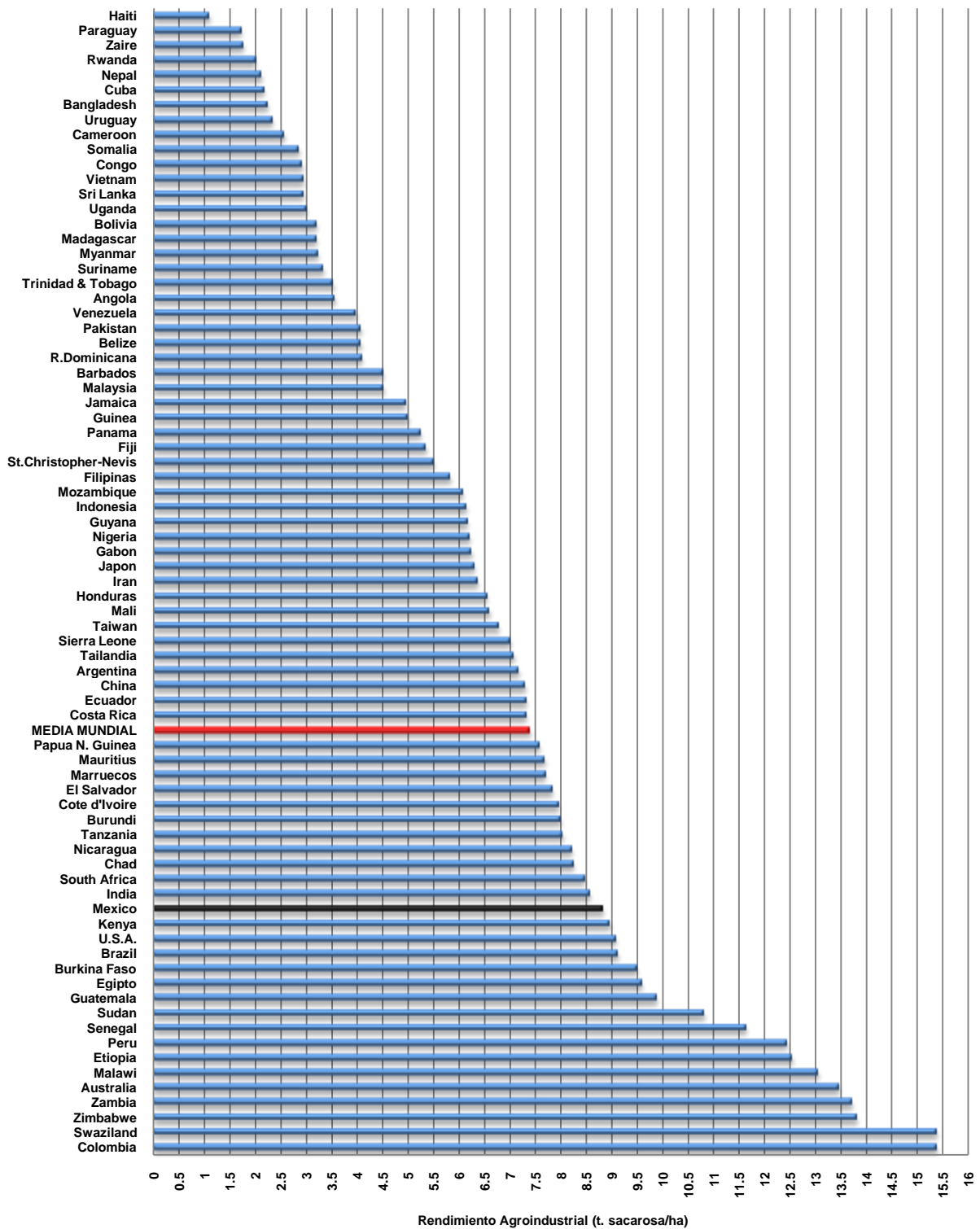


Figura 1.18. Rendimiento agroindustrial de países productores de azúcar de caña (t. Sacarosa/ha) (FAOSTAT, 2011)

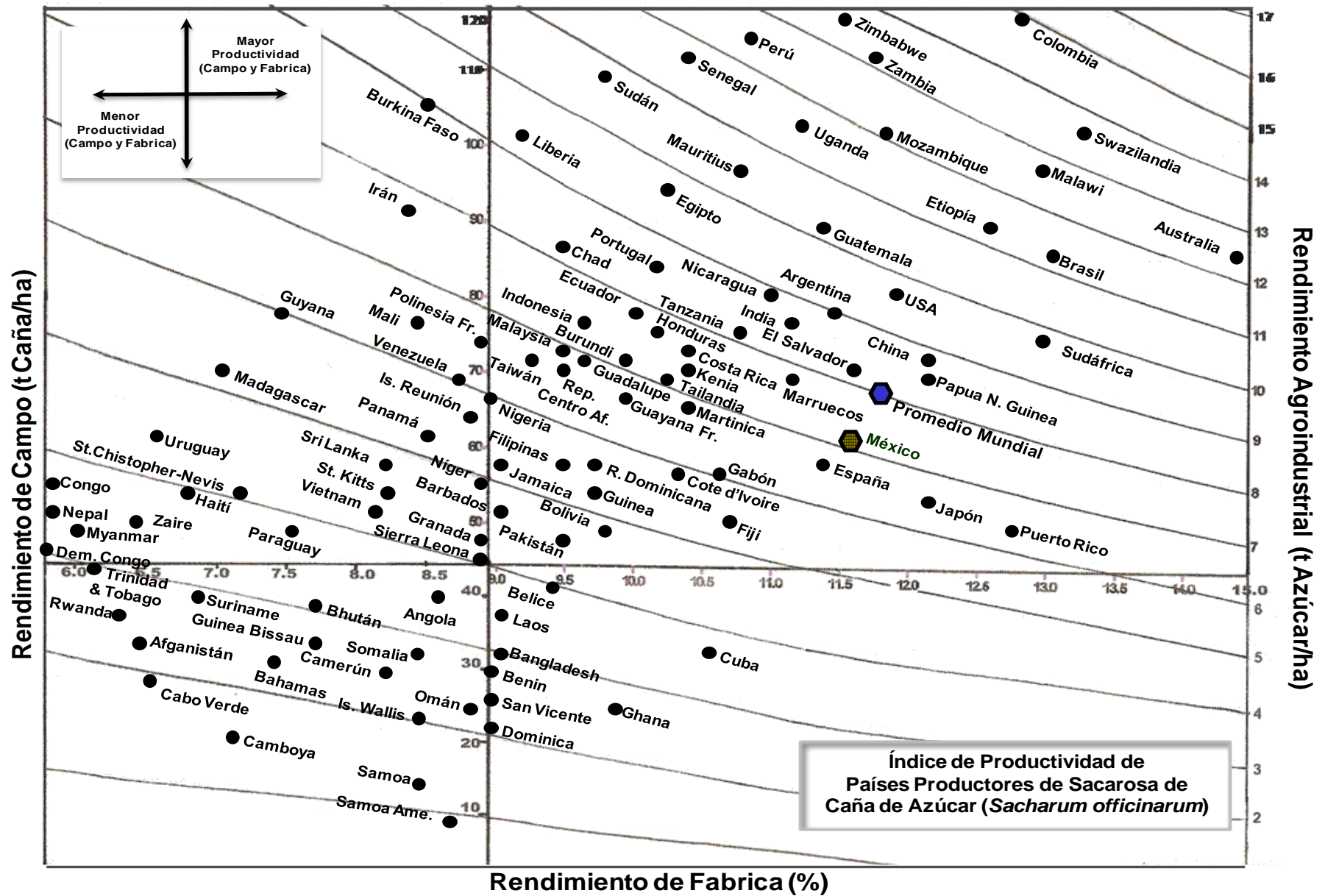


Figura 1.19. Productividad de las economías azucareras (con datos de FAOSTAT, 2011, ISO, 2007 y FOLICHTS 2007).

El grupo de países de mayor rendimiento (ubicados por encima de la media mundial de acuerdo a la metodología de CENICANA) incluye dos de los productores más grandes del mundo (Brasil y la India) y una serie de nuevas economías de alto rendimiento, como Australia, Guatemala, Perú, USA, Tailandia, Colombia, Sudáfrica, Mauricio y los países de África y Centroamérica que han desplazado a economías azucareras tradicionales como Cuba, México, Pakistán, El Caribe, Sureste Asiático y otros a el grupo de medio o bajo rendimiento, donde muchos de los ingenios locales, bajo las condiciones actuales, no son competitivos y no sobrevivirán a medida que la cuota de exportación crezca o que el diferencial en precios se reduzca, o cuando ambos eventos se produzcan al mismo tiempo, a menos que se adopten medidas eficaces para evitar esta realidad.

El aumento de la producción de caña, azúcar y competitividad del grupo de alto rendimiento puede atribuirse a la expansión de la caña en zonas productoras de mayor rendimiento y a la presencia de instituciones I+D+I con líneas de investigación en toda la cadena de la caña de azúcar (campo y variedades, fábrica, administración, mercados, impactos ambientales, coproductos y diversificación) en la mayoría de estos países (Cuadro 1.7)

Cuadro 1.7. Organismos de investigaciones en países productores de caña de azúcar

Institución	País	Año de fundación	Programas y líneas de investigación
National Sugar Institute	India	1936	Mejoramiento genético, agricultura cañera
Indian Institute of Sugarcane Research	India	1952	Agricultura cañera
Sugarcane Breeding Institute	India	1912	Variedades de caña, Mejoramiento genético, agricultura cañera
VSI Vasantdada Sugar Institute	India	1975	Agricultura cañera, Tecnología industrial y coproductos
Karnataka Sugar Institute	India	1960	Agronomía y tecnología azucarera
Instituto Azucarero Dominicano	República Dominicana	1965	Productos derivados de la industria Azucarera
Yunnan Sugarcane Research Institute	China	1988	Mejoramiento genético, variedades y agronomía
National Sugar Crops Research Institute	Pakistan	1982	Variedades, agronomía, biotecnología Derivados de la caña
Indonesian Sugar Research Institute	Indonesia	1887	Agronomía, tecnología azucarera, coproductos y diversificación
Unilorin Sugar Research Institute	Nigeria	1980	Agronomía, tecnología azucarera, coproductos y diversificación
Sugar Crops Research Institute	Egipto	1913	Agronomía, tecnología azucarera, coproductos y diversificación
MSIRI, Mauritius Sugar Industry Research Institute	Isla Mauricio	1953	Agronomía Biología Ingeniería azucarera Diversificación
The South African Sugarcane Research Institute (SASRI)	Sudáfrica	1927	Variedades Manejo del cultivo optimización
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. CENICANA	Colombia	1977	Variedades, Agronomía y Procesos de Fábrica
Experimental Agrícola Chacra	Argentina	1959	Variedades
INTA-Estacion Experimental Agroindustrial Obispo Colombres EEAO	Argentina	1909	Mejoramiento genético Agronomía, calidad industrial
CTC, Centro de Tecnología Cañera (Copersucar).	Brasil	1959	Agricultura cañera Tecnología azucarera bioetanol
SRDC, Sugar Research and Development Corporation	Australia	2005	Industria azucarera desarrollo Regional Tecnologías emergentes Desarrollo social
Sugar Research Institute	Australia	2005	Tecnología azucarera Sucroquímica Diversificación
Cooperative Research Centre for Sugar Industry	Australia	2003	Transferencia de tecnología,

Innovation through Biotechnology (CRC SIIB)			agricultura de precisión, desarrollo de Nuevos Productos de la caña de azúcar
Bureau of Sugar Experiment Stations	Australia	1900	Agronomía
CENGICANA, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Ciudad de Guatemala, Guatemala	Guatemala	1992	Variedades Agronomía Manejo integrado de plagas Transferencia de tecnología
Philsurin, Philippine Sugar Research Institute Foundation, Inc.	Filipinas	1922	Tecnología de producción de azúcar y etanol
Audubon Sugar Institute	USA	1887	Tecnología e ingeniería azucarera
HARC, Hawaii Agriculture Research Center (USDA). Aiea,	Hawaii USA	1895	VARIETADES Y MEJORAMIENTO GENÉTICO Manejo de plagas y enfermedades
Texas A&M University Agricultural Research & Extension Center	Weslaco, Texas USA	1923	Bioenergía Biofábrica Agricultura sustentable
AMSCL, American Sugar Cane League.	Thibodaux, Louisiana USA	1922	Variedades Agronomía Tecnología de producción de azúcar
SPRI, Sugar Processing Research Institute	New Orleans, Louisiana. USA	1939	Agronomía y refinado de azúcar Productos derivados de la caña
Sugar Cane Growers Cooperative of Florida	USA	1752	Agronomía y tecnología azucarera
WICSBS, West Indies Central Sugar Cane Breeding Station	Groves, St. George, Barbados (West Indies).	1888	Variedades
Office of the Cane and Sugar Board.	Tailandia	1984	Agronomía Tecnología de producción de azúcar e industrias relacionadas
Sugar Research Institute of Fiji	Isla Fiji	2005	Tecnologías y métodos de producción, cosecha, y procesamiento de caña de azúcar y coproductos
Sugar Research Institute.	Bangladesh	1933	variedades <i>Agronomía y agricultura de precisión</i>
SIRI, Sugar Industry Research Institute.	Jamaica.	1973	Agronomía Tecnología de producción de azúcar
Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)	Cuba	1969	Tecnología azucarera
ICIDCA, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.	Cuba	1963	Tecnología de producción de derivados de la caña de azúcar
INICA Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar	Cuba	1964	Tecnología Cañera
CINCAE, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador.	Ecuador	1997	variedades y tecnologías en el cultivo de la caña de azúcar
INIA Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela	Venezuela	1983	variedades y tecnologías en el cultivo de la caña de azúcar
DIECA –LAICA Dirección de investigación y extensión de la caña de azúcar	Costa Rica	1965	Mejoramiento genético Entomología Agronomía Transferencia tecnológica.
INIA Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria	Perú	2002	Tecnologías de manejo agronómico integrado del cultivo. Sistemas de producción, Manejo integrado de plagas y enfermedades Diversificación industrial
Kibaha Sugarcane Research Institute (SRI).	Tanzania	1972	Variedades y tecnologías en el cultivo de la caña de azúcar
Estación de hibridación de Tapachula	México	1956	Variedades
Institute of Sugarcane Research (ISCR)	Vietnam	1990	tecnologías en el cultivo de la caña de azúcar
Le Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre de La Réunion	Isla Reunión	1952	tecnologías en el cultivo de la caña de azúcar Derivados de la caña
CTCS le Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre	Isla La Martinique	1952	Agronomía Tecnología de producción de azúcar Derivados de la caña
CITTCA Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Caña de Azúcar	Bolivia	1990	Producción de Caña de Azúcar
SAS Swaziland Sugar Association	Swazilandia	1990	Variedades Tecnología agrícola
KESREF Kenya Sugar Research Foundation	Kenya	2001	Variedades Ingeniería Agrícola Tecnología de fábrica Transferencia de tecnología

La evolución del rendimiento de la agroindustria azucarera (productividad) afecta directamente la capacidad de exportación de ese país en particular mejorando su posición dominante (competitiva) en el mercado mundial del azúcar y recientemente etanol y otros derivados de la caña (Figura 1.20). Al mismo tiempo las exportaciones de azúcar de los productores de medio o bajo rendimiento como México, prácticamente dejaron de exportar debido a los elevados costos de producción derivados de bajos rendimientos en el uso de los factores de producción e insumos industriales (en campo variedades extranjeras de baja adaptabilidad y susceptibles a diversas enfermedades y plagas, fertilizantes, riego, mecanización, economías de escala y en fábrica combustibles, productos químicos, obsolescencia de maquinaria y equipos y bajos niveles de entrenamiento y capacitación de personal entre muchos otros) (ISO, 2005; Record, 2005; Zimmermann, 2002) a pesar de tener amplia superficie cosechada de caña de azúcar (Figura 1.21 y 1.22).

Ayres (1987) plantea que la tecnología moderna surge de un proceso de investigación y desarrollo relativamente formal y costoso. En otras palabras, la innovación tecnológica puede ser consecuencia de las inversiones en investigación y desarrollo con objetivos definidos y explícitos seguidos por inversiones más grandes incluso en el desarrollo del mercado.

En relación a lo anterior, el análisis del costo de la materia prima para los fábricas azucareras (precio pagado a los productores por tonelada de caña puesta a la puerta del ingenio o batey) dependerá no sólo en el precio de la caña, sino también en los rendimientos agroindustriales (campo y fábrica). Los datos sobre los precios locales de la caña, así como los costos de producción de azúcar (el costo para producir una tonelada de azúcar en \$ USD son indicadores económicos del desempeño que se ha estandarizado para propósitos de comparación entre las economías azucareras y factor determinante de la competitividad de cada economía que participa en el mercado mundial del azúcar (LMC 2003).

FAOSTAT e ISO reportaron que el precio de la materia prima ha mantenido, a partir de 2003, un margen promedio de variación de 8.56 \$USD/t para Brasil (principal productor) hasta 163.01 \$USD/t para Japón; al igual que el costo de producción por tonelada de azúcar de 59.13 \$USD/t para Brasil a 1433.66 \$USD/t para Japón; con una media mundial ponderada de 19.53 \$USD/t de caña y 171.74 \$USD/t azúcar producida.

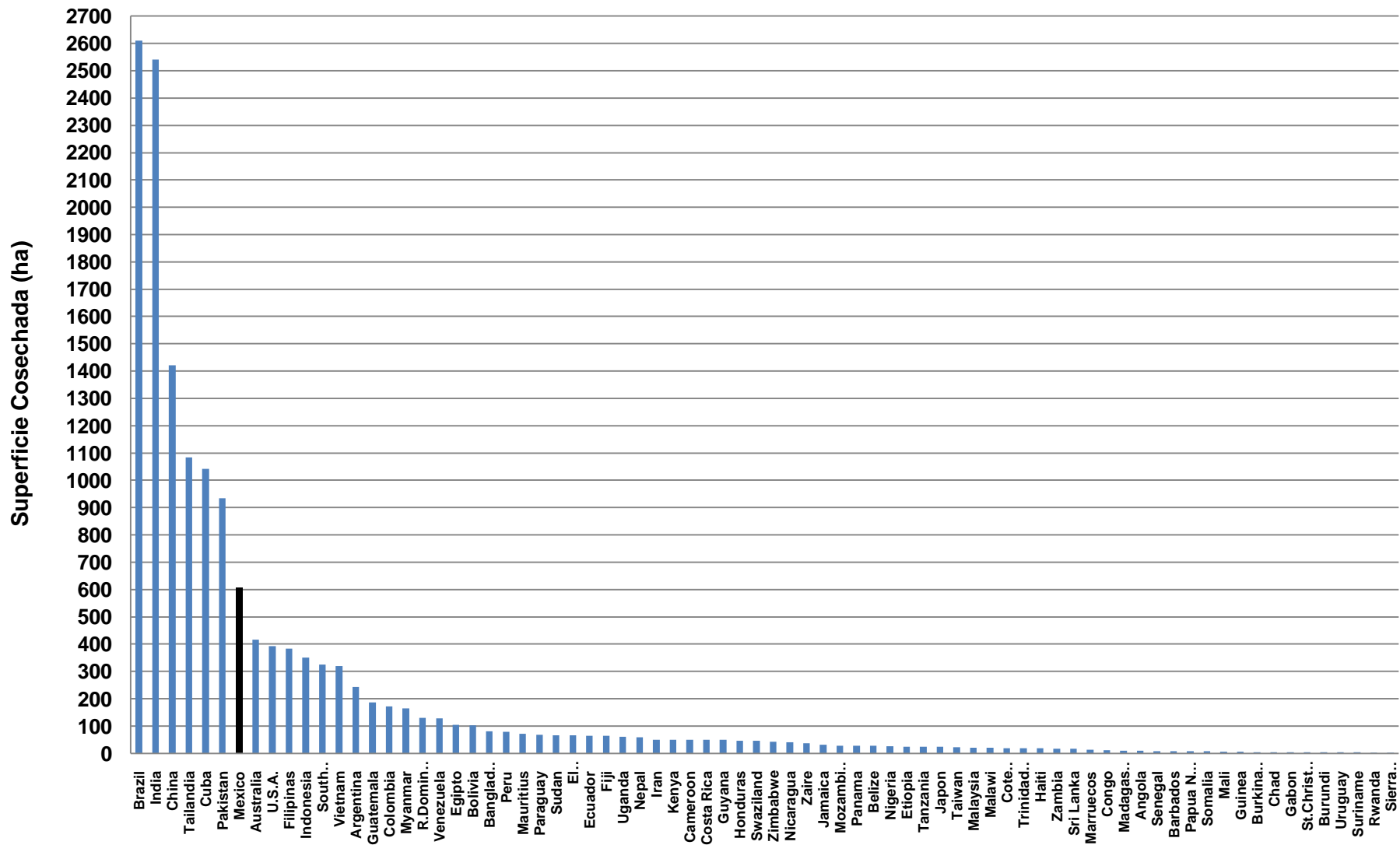


Figura 1.20. Superficie cosechada de caña de azúcar por país productor (ha) (ISO, 2005)

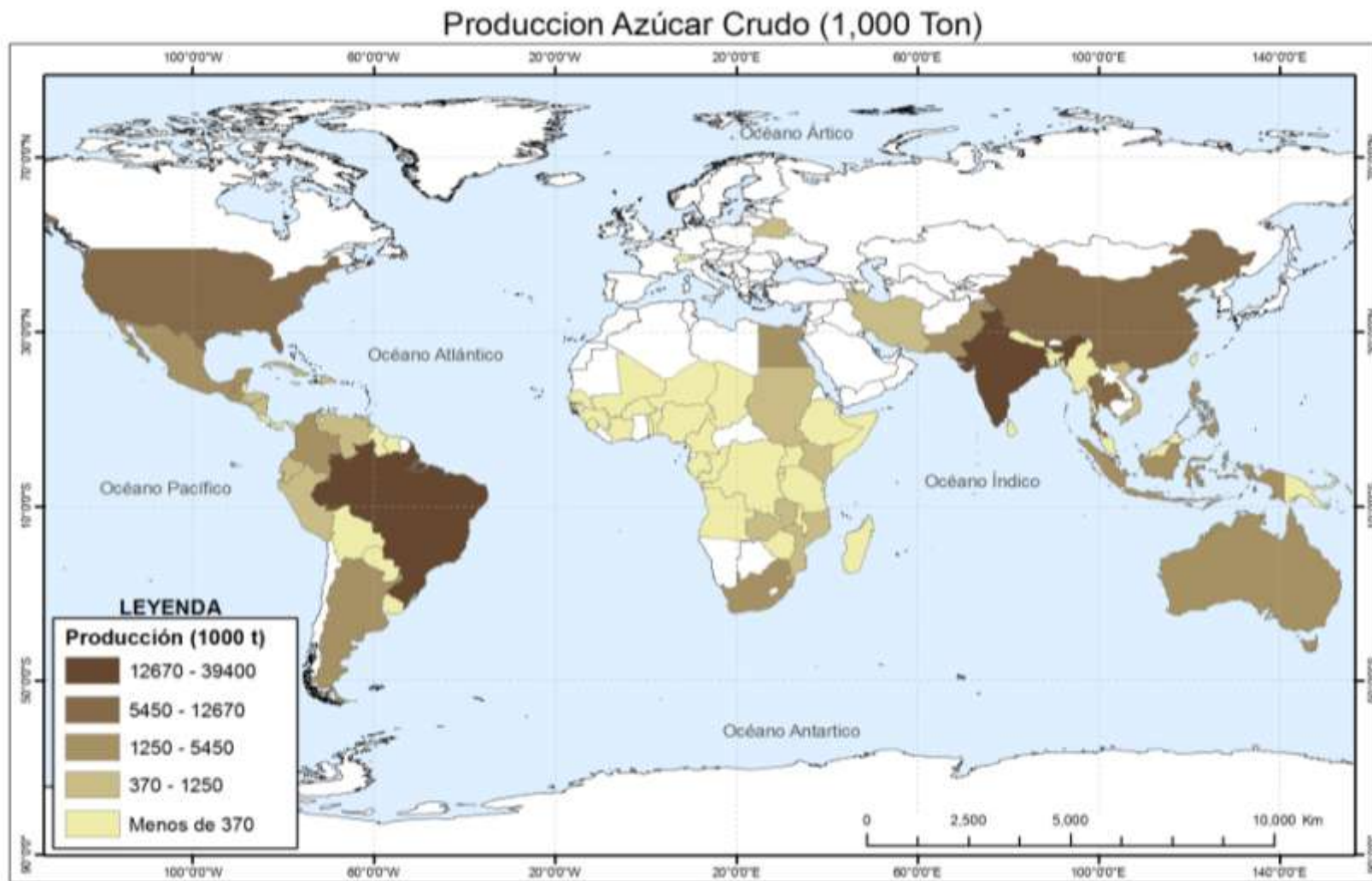


Figura 1.21. Producción de azúcar de caña por país productor (FAOSTAT, 2011)

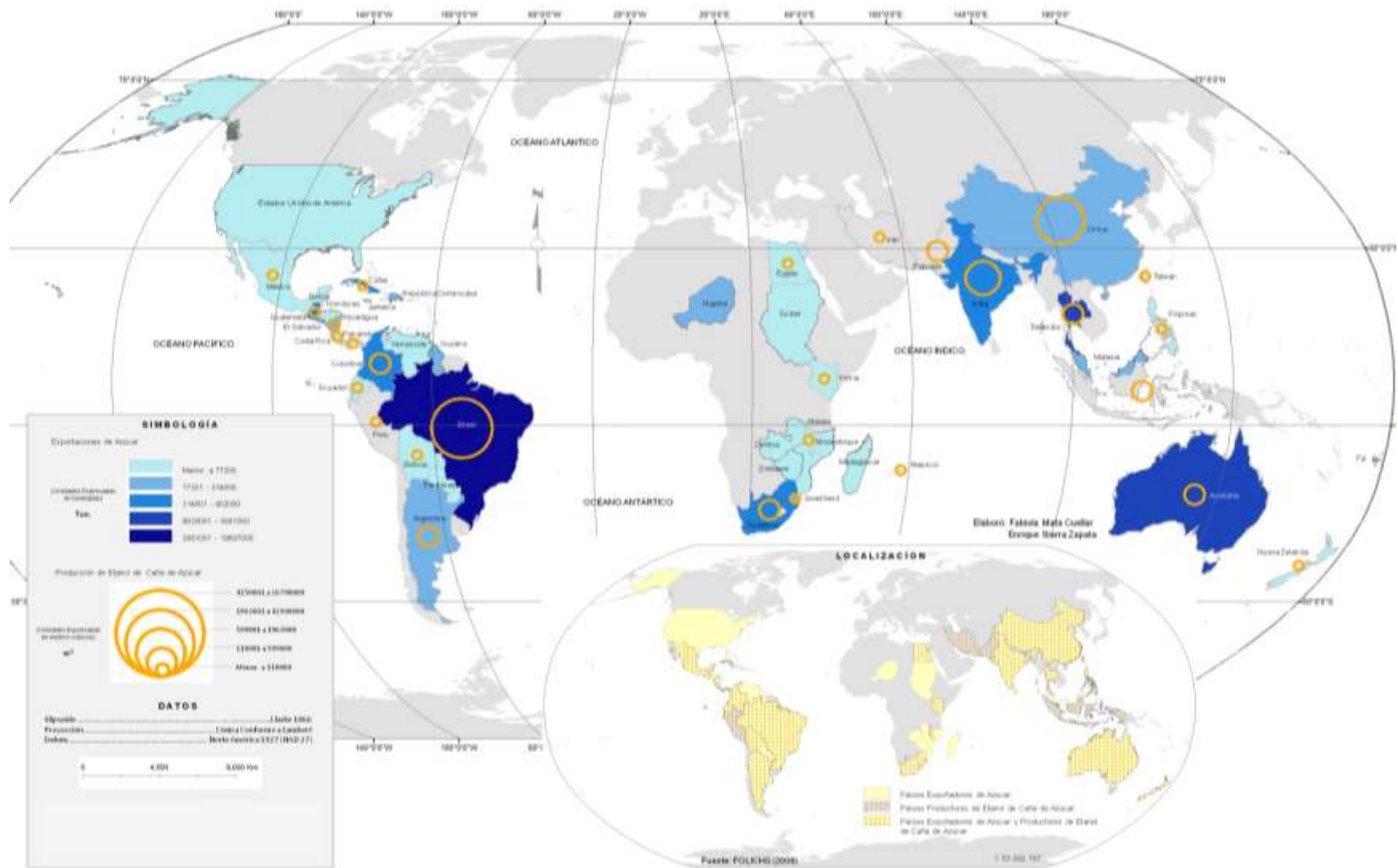


Figura 1.22. Capacidad de producción y exportación de azúcar y etanol de caña de azúcar (FAOSTAT, 2011)

Sobre la base de los costos de producción, los países productores de azúcar de caña se pueden dividir en dos grandes categorías: un grupo de inferiores costos de producción en relación a la media mundial (más competitivos) y el de costos superiores a la media. Brasil es el líder mundial con el costo de la materia prima de casi tres veces menor que la media mundial y un costo de producción por tonelada de azúcar producida de más del doble inferior a la media mundial (Cuadro 1.8 y Figura 1.18 y 1.19) y actualmente el 50% del total del área de caña de Brasil es cosechada para fabricar etanol.

Cuadro 1.8. Clasificación de países productores de caña por costo de las materias primas (ISO, 2005 y LMC, 2003, 1997)

Costos más elevados (superiores a 19.53 \$ USD/t)				Costos más bajos (inferiores a 19.53 \$ USD/t)
Mozambique	Filipinas	Argentina	Burundi	Burkina Faso
Belice	Fiji	China		Chad
Myanmar	Somalia	Taiwán		El Salvador
Bolivia	Gabon	Costa Rica		Guatemala
Nepal	Sri Lanka	Guyana		Ecuador
Camerún	Guinea	México		Kenia
Pakistán	St. Christopher	Mali		Irán
Congo	Haiti	Papúa N. G.		Is. Mauritius
Panamá	Suriname	Tanzania		Sierra Leona
Cuba	Indonesia	Swaziland		USA
Paraguay	Madagascar	Zambia		Colombia
Vietnam	Malasia	Zimbabwe		Egipto
Jamaica	Zaire	Sudan		Etiopia
Uruguay	Trinidad &	Venezuela		Malawi
Japón	Tobago	Rep. Dominicana		Perú
	Barbados			Senegal
				Brasil
				Australia
				Tailandia
				Bangladesh
				Cote d'Ivoire
				Nicaragua
				Marruecos
				India
				Bolivia
				Honduras
				Sudáfrica

En relación a los costos de producción, la mayoría de los países productores han posibilitado la expansión de la producción de azúcar a partir de la extensión del cultivo de caña más que sobre la base de mejorar el contenido de azúcar (sacarosa) de la materia prima. México es un buen ejemplo de esto al incrementar su superficie cosechada 13.2 % en el periodo 2000/2009 no así el rendimiento agroindustrial que disminuyó 1 % y el de campo - 4.1 %; esto se contrapone con las economías azucareras de menor costos de producción, debido a varios factores que han posibilitado que el sector azucarero de países como Brasil, Australia, Tailandia, Guatemala, Colombia, India y del Este Africano hayan funcionado relativamente bien. Un elevado grado de mecanización, tanto en el campo como innovaciones y modernización en la industria, ha facilitado el rendimiento de la caña por terreno cultivado, una mejor extracción de la sacarosa contenida en la caña, además de una elevada tasa de recuperación del capital en fábrica. Estas economías se caracterizan, también, por alargar la temporada de producción de azúcar lo que permite hacer un uso extensivo de los recursos fijos. Por su parte, las bajas remuneraciones de la mano de obra son un factor clave a la hora de explicar los menores costos productivos de azúcar que soportan este

grupo de economías principalmente en Brasil y África (Record, 2005; LMC, 2003, 1997) y su estructura de costos (Figuras 1.23 y 1.24)

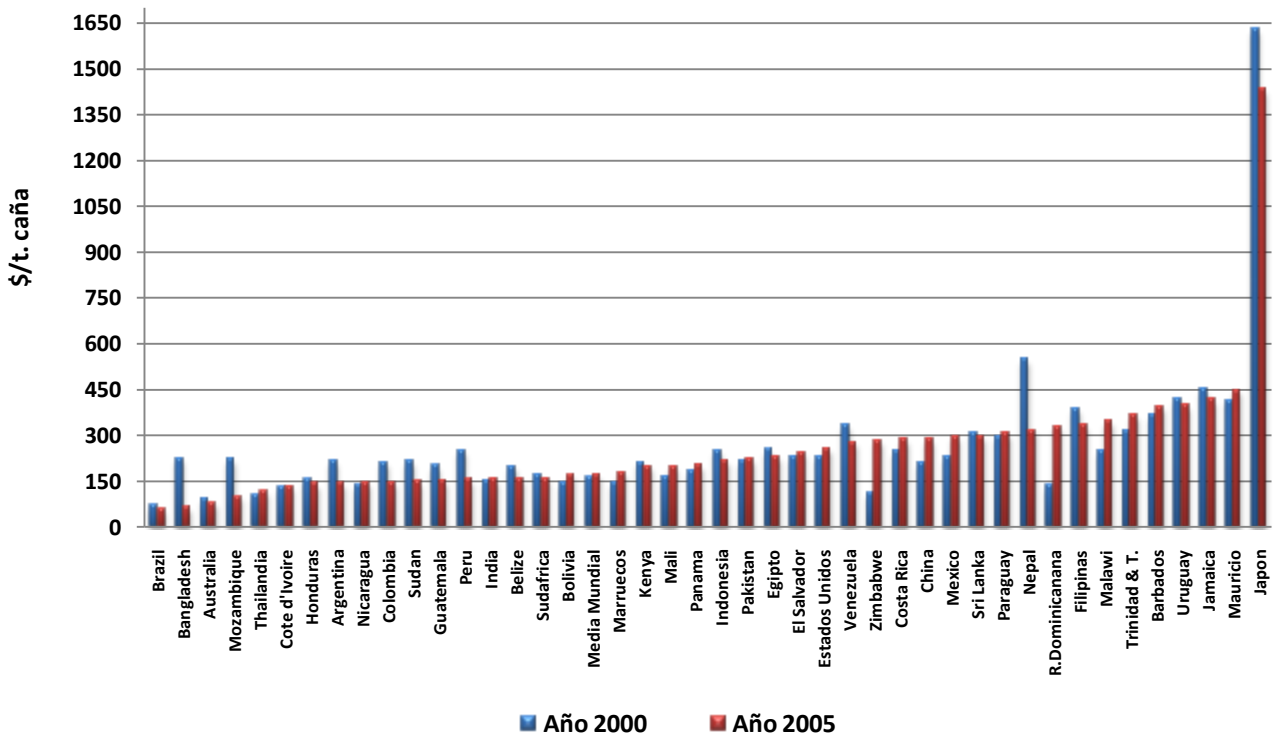


Figura 1.23. Costo de producción de azúcar de caña (\$USD/t) años 2000 y 2005 (ISO, 2005)

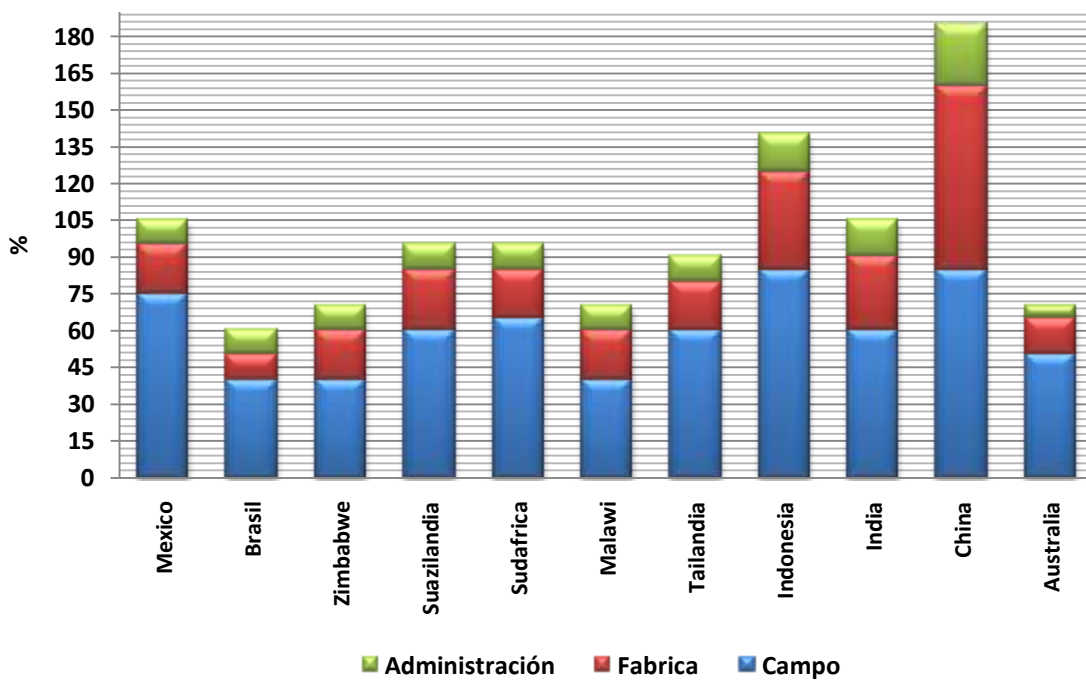


Figura 1.24. Estructura de costos de producción (LMC, 2007, 2003)

De acuerdo a FIRA (2010) el costo de producir caña en México para 2009 resulto 12.2% más elevado con respecto a Colombia, 30% más, con respecto a Brasil y 8.5% más, con respecto a Guatemala (se asume que incluyen la renta de la tierra). Por lo tanto México resulta menos competitivo por costo de producción.

1.8. Análisis del Diamante de Competitividad de Porter de la Agroindustria de la Caña de Azúcar de México

Montegut (2006) y Frohberg (1997) consideran que analizar la competitividad de un producto o un grupo de productos, de un sector y de un país puede ser realizado desde distintos niveles. En función del estudio que se quiere llevar a cabo, existen un gran número de indicadores y metodologías.

La competitividad de la industria azucarera mexicana (empresas de características emergentes) tiene vínculos entre los recursos específicos de cada región productora, las estrategias competitivas adoptadas y el entorno externo. El análisis del nivel competitivo puede llevarse a cabo de manera cualitativa de acuerdo a las conclusiones de Zhao, (2008); Banerjee (2004); Sánchez (2002); Ibáñez (2000) y Figueroa (1998). Este enfoque cualitativo es el método de análisis comparativo que permite explorar *a priori* las complejidades asociadas con la competitividad en los negocios internacionales debido a las empresas tienen fortalezas y debilidades en relación con la estructura de la industria, y la estructura de la industria puede y debe cambiar gradualmente con el tiempo. Sin embargo, comprender la estructura de la industria debe ser el punto de partida para la estrategia de análisis (Kogut, 1985).

En la investigación de un tema complejo, la metodología cualitativa, se ha considerado más apropiada. Las técnicas cualitativas son útiles para explicar y reinterpretar el fenómeno de la competitividad internacional que implica diferentes aspectos inter-cultural-socio-políticos y no sólo tecnológicos y de mercado. En tales situaciones, los métodos de investigación comparativa proporcionan una mejor explicación, poniendo de relieve las similitudes y diferencias de los factores (Berumen, 2007).

Los métodos utilizados son el análisis FODA (SWOT por sus siglas en ingles) (fortalezas, debilidades, oportunidades, amenazas), el análisis PESTLE (P factores políticos que influyen en el ambiente productivo, E factores económicos, S influencias sociales, T tecnológicos, L factores legales y E de medio ambiente y ética) y el modelo de diamante de Porter (Banerjee 2004).

El análisis FODA se centro en las ventajas y desventajas comparativas de los recursos. Estos son sinónimo de fortaleza y debilidad, y generan costos y la diferenciación de las ventajas y desventajas competitivas en los mercados de productos (Valentín, 2001). Además, el único conjunto de recursos, que posee una empresa identifica los factores internos y determina la manera en que la empresa

pueda responder a las circunstancias externas que ofrecen oportunidades y/o amenazas.

El análisis FODA exhibe los puntos fuertes y débiles que cada economía tiene en la producción de azúcar, ya sea inherente o creado. Como entes sujetos a la nación, las empresas tienden a adquirir los puntos fuertes y débiles del medio ambiente en que operan, este análisis proporciona una valiosa información sobre opciones de estrategia disponibles (Shinno, 2006 y Hashizume, 2004).

El objetivo del análisis PESTLE, en el entorno cambiante de la evolución de la economía mundial del azúcar, es proporcionar una serie de explicación de las fuerzas que dan forma a la interacción del medio ambiente mundial del azúcar que se pueden analizar en el marco de las variables ambientales para cada economía azucarera en particular.

La comparación específica de la industria azucarera mexicana, en relación a Brasil y Australia (como las mayores economías azucareras del mundo) con datos de Furtado (2008); Gallagher, (2006); Neves (2007); Van den Wall Bake (2006); Bandaranaike (2005) y Antony (2005) parte del marco de competitividad internacional que adopta la lógica fundamental del modelo del diamante de Porter, de acuerdo a la metodología de Zhao, (2008); Banerjee (2004); Cornland (2001); Fry, (1998) y Figueroa (1998) e integra la visión basada en los recursos, la gestión estratégica y la perspectiva de los negocios internacionales, conceptos que ponen de relieve la interacción de procesos en el que participan los agentes de los diferentes contextos socio-políticos. En este marco de análisis de la competitividad de la industria azucarera se evalúan los efectos siguientes:

- (i) Efecto empresa o Firma – verifica si están presentes las condiciones para que las empresas a través de los activos y capacidades propias puedan mantener un rendimiento óptimo a través de una mayor eficiencia productiva.
- (ii) Efecto Industria. Surge de la verificación de fortalezas directas e indirectas de la industria individual, que ofrecen a la competencia y afectan la sostenibilidad si están por encima del rendimiento medio de la competencia.
- (iii) Efectos de Estrategia. Constituyen las condiciones necesarias para que la empresa y la industria reaccionen ante el entorno externo tanto en el mercado y ante otras influencias.
- (iv) Efectos socio-políticos. Se producen cuando las características de la empresa y/o la industria interactúan en el medio ambiente no comercial, que incluye las interacciones de los consumidores, las partes interesadas, el gobierno, los medios de comunicación y las instituciones públicas.

Asimismo, estos efectos reflejan las condiciones de la demanda, estrategia de empresa, la estructura y la rivalidad y las industrias relacionadas y de apoyo, elementos del modelo de diamante de Porter para determinar:

- (i) La intensidad y la dinámica de la competencia internacional mediante el examen de las distintas circunstancias en los mercados nacionales como el tamaño del mercado y efectos socio-político-culturales;
- (ii) Las diferentes funciones que los gobiernos nacionales desempeñan, a saber el grado de protección, incentivos y subvenciones;
- (iii) Los diferentes factores que influyen en los costos entre los países y regiones en lo que respecta a los recursos naturales y la productividad;
- (iv) Las diferencias en la velocidad a la que las nuevas tecnologías y la mecanización se han incorporado;
- (v) Las diferencias de recursos naturales inherentes y creados;
- (vi) Las diferencias en los objetivos y las estrategias empleadas y la habilidad y la capacidad de reaccionar a los cambios en el medio ambiente competitivo

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), Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos de 2000 al 2009 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Ley de desarrollo sustentable de la caña de azúcar, Programa Nacional de la Agroindustria Cañera 2007-2012 (PRONAC, 2007), Manual Azucarero Mexicano 2000 al 2010 (CNIAA, 2010), los resultados de las zafras 1999/2009 (CNPR; 2010) y COAAZUCAR (2008) y los trabajos de García (2009); Ahumada (2009); Mertens (2008); Enríquez, (2008); Domínguez (2005); Ortega (2004); Olivares (2004); Singelmann (2003); Sánchez (2002); Rappo (2002) y Crespo (1988) y los reportes internacionales: LMC International (2007, 2003 y 1997); World sugar report 1997-2007 (FOLICHTS 2007); FAOSTAT (2011); y de la Organización Internacional del Azúcar (ISO, 2005) (Cuadros 1.9 al 1.15).

Cuadro 1.9. Comparación de las situaciones actuales de la Industria Azucarera en Australia, Brasil y México

	Australia	Brasil	México
Oferta	Produce azúcar crudo y refinado de caña de azúcar. Produce alrededor del 4% del suministro mundial del azúcar y las exportaciones en torno al 12% de comercio mundial de azúcar. 75% de su producción es para exportaciones la caña de azúcar es el Segundo cultivo de exportación más grande de Queensland. La Caña de azúcar se produce a lo largo de 2,100 km de línea costera en el norte de Queensland & W. Australia. 545,000 hectáreas dedicadas al cultivo de caña de los cuales más de 508,000 ha en Queensland, es decir, el 20% del total de superficie de cultivo en Queensland.	Entre los líderes mundiales en la producción de caña de azúcar, azúcar y etanol (alcohol combustible). Entre los más eficientes productores de azúcar en el mundo	Produce azúcar crudo (69 %), refinado (30.78 %) y mascabado (0.22 %). En la región del Golfo, el noreste y la costa central del Pacífico representan, combinadas, más de 80 % de la producción de 685,000 ha sembradas de caña. Estados Unidos de América dentro del TLCAN es el destino del 94.7 % de las exportaciones totales que representan el 3.54 % de la producción nacional de azúcar en ingenios azucareros. La producción de etanol disminuyó 71 % durante el periodo 2000/2008 al dejar de funcionar las destilerías de la mayoría de los ingenios azucareros (en 2009 sólo funcionan 3 de ellas).
Situación	El Azúcar crudo se produce en 3 estados: Queensland (95%), Nueva Gales del Sur (≈ 5%), WA (0,7%). Hay 26 fábricas en Queensland, 3 en Nueva Gales del Sur, y 1 en Washington. En Queensland, el 80-85% de su producción de azúcar crudo es para exportación y representa el 100% de la exportación azúcar crudo de Australia. El restante 15-20% de azúcar crudo se refina en las Refinerías de azúcar (2 en Queensland, 1 en Nueva Gales del Sur, y 1 en Victoria) para el mercado interno y las exportaciones restantes.	Brasil presenta características de flexibilidad productiva debido a sus recursos naturales y la capacidad para ajustar rápidamente la producción de azúcar de acuerdo a la demanda del mercado mundial de azúcar y etanol. La continúa devaluación de su moneda, incrementa el atractivo de las exportaciones de azúcar. Posee la segunda mayor cuota de mercado de EE.UU. Ha mejorado la infraestructura para reducir costos y acelerar el flujo de exportación para el mercado mundial. Ha diversificado el destino de sus exportaciones a países como Malasia, Corea del Sur e Indonesia.	El azúcar se produce en 15 estados donde se localizan 57 fábricas con una antigüedad promedio de 77 años, Veracruz tiene el 40 % de la producción nacional con 22 ingenios. Los ingenios tienen un sistema de producción rígida y especializada, es decir, 43 ingenios solamente producen crudo, 6 refinado y 8 ambos y sólo 3 etanol. La capacidad instalada promedio de los ingenios es 6200 t/24 H y la utilizada real 82.42 % y en la comercialización de los derivados de la caña dependen totalmente del mercado interno. La infraestructura en campo y fábrica no ha mejorado y no existe diversificación de oferta y la demanda de productos diferenciados es cubierta por empresas transnacionales.
Régimen legal	Industria azucarera de Queensland, está regulada por la <i>Sugar Industry Act 1999</i> y modificada por la reforma de la <i>Sugar Industry Reform Act 2004</i> (las distintas disposiciones de la Ley de reforma se tengan efecto en los próximos años). La industria del azúcar se caracteriza en gran medida por las políticas de desregulación del gobierno - especialmente en la reducción del control central sobre las superficies plantadas y la eliminación de los aranceles de importación de azúcar	El marco normativo se rige por: Control sobre la mezcla etanol-gasolina, Control de las importaciones de etanol.	El marco regulatorio es muy extenso para la industria Ley de desarrollo rural sustentable Ley de desarrollo sustentable de la caña de azúcar PRONAC 2007-2012 Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Contrato Ley de la Industria Azucarera y Alcohólera la Ley del Seguro Social Ley Federal del Trabajo Tratados Internacionales de libre comercio

Cuadro 1.10. Regímenes de Producción y comercialización de azúcar

Australia	Brasil	México
<p>El marco regulador de la industria azucarera de Queensland (que representan el 95% de la producción de Australia) se ha establecido principalmente por <i>Sugar Industry Act 1999</i>. En 2000, se enmendó la Ley para la creación de una unidad de comercialización propiedad de las empresas productoras y para permitir la transferencia de los terminales de azúcar a granel a la propiedad industrial. La ley estableció una serie de marcos regulatorios para el funcionamiento de la industria:</p> <p>Negociación de los contratos de suministro y procesamiento de caña de azúcar entre los agricultores y empresarios. Los agricultores y empresarios pueden negociar colectivamente o individualmente para la mejora de la rentabilidad.</p> <p>Se establecen las condiciones para la entrega de caña de azúcar en fábrica, recolección, transporte, manipulación y pago.</p> <p>Para garantizar la fijación de los precios de la caña y el suministro a la fábrica sobre una base equitativa. Decidir cómo los ingresos de venta de azúcar crudo se dividen entre los agricultores e industriales.</p> <p>Para exigir a cada fábrica a tener programas calidad. Establecer mecanismos de solución de controversias y de mediación que permitan la negociación colectiva.</p> <p>Gestión sostenible de recursos.</p> <p>La ley regula el uso de la tierra para cultivo de caña para que coincida con la oferta y la demanda de caña de azúcar para la determinada zona de abasto de un ingenio para (i) la producción sostenible y (ii) optimizar el uso eficiente de la capacidad de molienda de los ingenios.</p> <p>Comercialización de azúcar crudo. La Ley regula la comercialización de azúcar crudo en QSL tanto en el mercado nacional y mundial.</p>	<p>Regula tanto las exportaciones de azúcar crudo y refinado, así como etanol (anhidro e hidratado) y de la transformación de una gran parte de la producción de caña de azúcar.</p> <p>El Alcohol anhidro se mezcla con la gasolina a lo dispuesto por el gobierno y el alcohol hidratado se utiliza para vehículos alimentados con 100% de alcohol.</p> <p>La Crisis del petróleo de 1970 causó problemas económicos y financieros que resultaron en la creación del programa PROALCOOL para promover la producción nacional de alcohol combustible y utilizar la gran abundancia de la producción de caña de azúcar. Esto dio lugar a:</p> <p>La creación de tecnología "autóctona", La eficiente utilización de la caña de azúcar, La sustitución de las importaciones de petróleo, y la conservación de divisas.</p> <p>Un arancel externo del 20% sobre las importaciones de azúcar establecida en 2001 y las importaciones de etanol gravadas al 30% llevaron a los productores de azúcar y etanol a recibir precios más altos para sus productos.</p> <p>El entorno de viabilidad comercial de producción de caña de azúcar se desarrolla con la producción de etanol combustible y azúcar y se deriva de factores cruciales como:</p> <p>Los beneficios del mercado de etanol que se derivan de las ganancias de un mercado cautivo de alcohol anhidro y a lo dispuesto por proporción de la mezcla gasolina / etanol.</p> <p>Los precios del alcohol combustible, en gran medida, están dominados por el mercado. La viabilidad comercial de etanol a partir de caña de azúcar depende de: Precio del azúcar en relación al etanol; precios externos a la fábrica de etanol y azúcar, son un factor determinante del volumen de la producción de azúcar para el mercado de exportación. Precio del petróleo crudo y de los costos de producción de etanol.</p>	<p>El marco regulador de la industria azucarera inicia en 1943 con Los decretos presidenciales, denominados decretos cañeros, relacionados con la industria cañera inician como resultado del reparto agrario. Se modificaron en 1944, 1975 y 1991 hasta que se derogaron en 2005 con la expedición de la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar que tiene por objeto normar las actividades asociadas a la agricultura de contrato y a la integración sustentable de la caña de azúcar, de los procesos de la siembra, el cultivo, la cosecha, la industrialización y la comercialización de la caña de azúcar, sus productos, subproductos, coproductos y derivados. En 2007 se promulgo el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC) 2007 – 2012 cuyo propósito en el discurso es mejorar la productividad y competitividad, de las actividades de la agroindustria de la caña de azúcar y consolidar una agroindustria integrada y competitiva que enfrente con éxito la competencia en el mercado norteamericano de edulcorantes y bioenergéticos, con productos de calidad provenientes de procesos rentables y sustentables.</p> <p>La crisis de 1982 causo problemas de producción y concluyo en 1990 con la privatizaron los ingenios paraestatales y se cerraron los institutos de investigación, por lo que la agroindustria no tiene un programa de investigación establecido y vigente. Para 2001 se expropiaron 27 ingenios de los cuales en 2009 sólo 13 pertenecen al FEESA y el resto son privados, el entorno económico de la agroindustria se desarrolla exclusivamente con el monocultivo de caña de azúcar, la producción de azúcar y la venta de los coproductos y subproductos: melaza a las industrias de fermentación, alimentos pecuarios y farmacéuticas, la cachaza al sector agrícola como abono y el bagazo se quema para generación de vapor y energía en los propios ingenios y el sobrante se intercambia por combustóleo a dos plantas de celulosa y papel de bagazo de caña en el estado de Veracruz. La reutilización de residuales: agua, compostlazole, vinazas, cenichaza es limitada a pocos ingenios y zonas de abasto debido a que la agroindustria depende de tecnologías incorporadas en las décadas de 1960 entre 1990, variedades de caña MEX desarrolladas en esa época y maquinaria nacional. Actualmente se transfieren innovaciones de Tecnólogos de Cuba, Brasil y Costa Rica.</p>

Cuadro 1.11. Análisis FODA de la industria azucarera de Brasil, Australia y México

	Australia	Brasil	México
Fortalezas	<p>Buena infraestructura. Educación, mano de obra cualificada. Alta experiencia en el mercado mundial de exportación Rentable - los costos de producción son bajos. Industria azucarera más altamente mecanizada en el mundo. Aumento de la productividad - la tasa de recuperación de azúcar es mayor en el mundo (alrededor del 90%). Alta calidad de productos finales Alta concentración en I + D. Altamente desregulado el mercado</p>	<p>Vastos recursos naturales que a largo plazo siguen siendo la fuerza económica. Más grande y más eficiente productor de azúcar del mundo. Costo de mano de obra barata, y que crea puestos de trabajo. Concentra alrededor del 60% de la producción de etanol de la caña de azúcar Las industrias relacionadas con azúcar y alcohol han atraído la inversión extranjera directa. Devaluación de la moneda aumenta las exportaciones. Amplia red nacional de I + D</p>	<p>Demanda interna asegurada y creciente Extensas zonas de cultivo de caña de azúcar, que al incrementar su productividad, son una fortaleza a largo plazo La mayoría de los ingenios generan su propia energía eléctrica Disponibilidad de mano de obra barata para las labores de campo e industria Se está implementando la agricultura de precisión y el Control biológico de plagas</p>
Debilidades	<p>Alrededor del 80% la producción es para exportaciones a bajo precio mundial. El azúcar vendido en el mercado domestico es también en referencia a los precios internacionales. La industria azucarera opera en un medio ambiente de altos salarios. Los productores y empresarios están vinculados por contratos y no pueden ampliar o disminuir su producción. Carece de competencia a nivel nacional debido a que todo el azúcar se comercializa a través de empresas comerciales del Estado. Goza de alto tipos de cambio de moneda. Exportación se basa en la inestabilidad de los mercados como Rusia o los países árabes, donde los volúmenes de importación fluctúan significativamente.</p>	<p>Alta dependencia de la economía brasileña en el sector del azúcar y etanol. Las políticas del Gobierno no son claras. Ingenios sucroalcoholeros se perciben como los empresarios protegidos y, por tanto, la imagen de esta industria no transmite las ventajas que tiene. La mano de obra empleada en la cosecha de caña no es cualificada y la mecanización trae problemas de reasignación de mano de obra. Explotación familiar es la forma dominante en el campo cañero; las técnicas modernas de agricultura comercial son necesarias para ser implementadas. Varios ingenios tienen problemas financieros. Pobres servicios de infraestructura Alta inflación e intereses y la pesada carga de la deuda externa.</p>	<p>No es un exportador neto de azúcar y requiere regularmente de importaciones de azúcar y otros derivados de la caña como etanol y otros edulcorantes como JMAF. Estructura monopsonica del mercado de caña. En cada región cañera existen muchos proveedores y solamente un comprador. La naturaleza perenne del cultivo. Escasa generación de valor agregado Dependencia de insumos y equipos importados El intervencionismo estatal en toda la cadena del azúcar. Explotación familiar en la forma de minifundio; las técnicas modernas de agricultura comercial están limitadas a pocos ranchos. Sólo el 38.43% del campo cañero tiene riego y el 72.26% se encuentra en ciclo resoca El 50 % de los ingenios tienen limitaciones de producción y financiera. Altos costos de producción El acceso al crédito y servicios de capacitación es limitado El nivel educativo de los productores es bajo (71 % tiene educación básica y 18 % no sabe leer ni escribir). Las relaciones de coordinación vertical entre productores agrícolas de caña de azúcar y la agroindustria azucarera no están basadas en economías de escala. No existen programas de desarrollo de variedades, reingeniería de procesos unitarios y diversificación.</p>

<p>Oportunidades</p>	<p>Expectativas de cambios de política comercial, especialmente en economías de la tríada de la UE, EE.UU., y Japón. El uso diferenciado y de valor agregado del azúcar. La diversificación en el sector energético.</p>	<p>Expectativas con la apertura comercial de las economías de la tríada. Exportación de tecnología brasileña en la producción de alcohol combustible de caña de azúcar. Uso diferenciado y de valor agregado del azúcar.</p>	<p>Autosuficiencia de caña de azúcar, azúcar y etanol mediante la reconversión y diversificación de áreas cañeras de bajo rendimiento e ingenios Reingeniería administrativa. Desregulación en el mediano plazo Eliminación de quema de cañaverales y Mercados de carbono y desarrollo limpio Ampliación del mercado azucarero dentro del TLCAN y otros mercados Certificación de procesos mediante normas internacionales Desarrollo de capital social y tecnología propia Cogeneración</p>
<p>Amenazas</p>	<p>Que sin asistencia gubernamental la producción de azúcar sea más vulnerable a las fluctuaciones de los precios del azúcar en el mundo. El incremento de la producción de azúcar de Brasil encuentre su camino en el mercado internacional. Amenazas a la industria por cuestiones ambientales y la variabilidad climática</p>	<p>Que los compradores de azúcar como la industria de alimentos y bebidas no se puedan aplicar conceptos de gestión de la oferta. La variabilidad climática. Entrada de grandes empresas multinacionales para aprovechar mercados nacionales e internacionales cuando los mercados sean liberalizados.</p>	<p>Bajo nivel de estándares de calidad internacional, desastres climáticos por huracanes, heladas y sequías, Competencia en el mercado de productos establecidos (edulcorantes no calóricos y HFCS), Limitaciones de capital para el desarrollo, y Proyectos de etanol basados en maíz y sorgo dulce</p>

Cuadro 1.12. Análisis PESTLE de la industria azucarera de Brasil, Australia y México

	Australia	Brasil	México
Factores políticos	Una sustancial reducción de reglamentos gubernamentales a través de los años ha dado lugar al desempeño de la industria en la relativa ausencia de intervención política.	Gobierno ya no influye directamente en la producción de azúcar y las exportaciones. Actualmente la política es hacia el etanol en los precios de venta y a través de la reglamentación del contenido de etanol en la gasolina, un imperativo político de azúcar.	El gobierno y las organizaciones cañeras CNC y CNPR y el STIASRM influyen directamente en el rumbo de la agroindustria y en los precios de venta de la materia prima y de los productos finales a través de las leyes vigentes.
Factores económicos	En la exportación de alrededor del 80% de la producción de azúcar, los principales factores son: las fluctuaciones y bajo precio mundial del azúcar, los tipos de cambio, intervención en el mercado exterior, mercado interior, la oferta y la demanda internacional vinculada al aumento de la producción y el consumo, la competencia internacional y los subsidios, acuerdos contractuales.	Los abundantes recursos naturales de Brasil siguen siendo una fuerza económica a largo plazo. La Cadena del azúcar está actualmente vinculada al sector de los alimentos y la energía. La entrada de grandes empresas multinacionales de la Unión Europea ha generado enorme interés en el ámbito interno de azúcar-alcohol, así como su influencia anticipada en el comercio mundial.	La cadena del azúcar está vinculada al sector alimentos, papel, fermentaciones y alimentos pecuarios; los productos finales tiene altos de producción y son débiles ante la competencia internacional de productos similares
Factores sociológicos	La recesión económica de la industria debido a la baja de los precios mundiales ha impactado fuertemente en la sostenibilidad social de las comunidades costeras (la actividad económica local y el empleo) donde las opciones alternativas de producción agrícola y diversificación son limitadas.	La fuerte vinculación entre el sector de los alimentos y la energía establecida a través de PROALCOOL ha dado como resultado la configuración de un fuerte sistema agro-industrial que ha creado un número significativo de empleos directos e indirectos. Las condiciones de trabajo también han mejorado.	Las recurrentes crisis de la industria azucarera sin signos de recuperación económica en las zonas de abastecimiento; motivan a que los trabajadores del campo, los productores, sus familias y sus hijos emigren a buscar oportunidades en los Estados Unidos o a diversificar el ingreso rentando sus predios o contratándose como jornaleros, sin embargo, continúan como productores de caña debido a la posibilidad de continuar con seguro médico y derecho a jubilación con el Instituto Mexicano del Seguro Social.
Factores tecnológicos	Toda caña de azúcar producida ha sido cosechada mecánicamente desde 1979. Se han ampliado las actividades de I + D en las áreas que la industria	Cosechadoras rápidamente han estado sustituyendo a los cortadores humanos en una proporción mayor al 50% en muchas plantaciones de caña de azúcar en la última década. El azúcar se ha convertido en una	Se tiene un bajo nivel de mecanización agrícola (15,762 equipos para atender 683,008 ha cosechadas de caña), las áreas fertilizadas corresponden al 15.7 % del total. Los ingenios tienen un aprovechamiento de sacarosa de

	necesita.	industria de avanzada con el cultivo y procesamiento y ha logrado integrarse en diferentes lugares al igual que un complejo petroquímico.	82.474 % y presentan tiempos perdidos de hasta 20.57 %, debido a la falta de innovaciones y la baja vinculación con instituciones de I+D.
Factores legales	Marco regulador se establece principalmente en el Sugar Industry Act1999 que establece un marco para el suministro de caña de azúcar por parte de los agricultores a un ingenio en Queensland.	La ley federal establece la disminución de la práctica de la quema de residuos en un futuro próximo (2020) sobre el terreno ya que contaminan el aire con las cenizas	El PRONAC establece la Modernización del campo cañero mediante el apoyo para inversión en maquinaria y equipo de cosecha en unidades de servicio, cosecha en verde y la disminución de la caña quemada de 90 a 70 % para el 2012 así como la eficiencia en el alce y en la alineación del acarreo con el sistema de descarga de caña y el aprovechamiento de aguas residuales de los ingenios para incrementas a 48% del total la superficie cañera en 2012.
Factores ambientales y éticos	Industria azucarera es adyacente a zonas ambientalmente sensibles de importancia internacional. La calidad del agua y el uso de productos químicos agrícolas requieren condiciones adecuadas de almacenamiento y eliminación de residuos agrícolas.	La caña de azúcar crece normalmente como un monocultivo - el medio ambiente que afecta negativamente al agotar el suelo. Otras cuestiones son: la contaminación del agua, el impacto de la quema de caña sobre la contaminación atmosférica, el impacto del etanol en los motores en la contaminación del aire.	El esquema tecnológico se basa en el monocultivo, la especialización por regiones y por productores, no existe rotación e intercalamiento de cultivos; la mayoría de las zonas cañeras tiene problemas edáficos como la erosión, agotamiento de nutrientes, principalmente N y reducción del pH y materia orgánica, que han incrementado la dependencia de insumos y los costos de producción. El 90 % de la cosecha es mediante la quema y requema de residuos.

Cuadro 1.13. Análisis del Diamante de Porter de la industria azucarera de Brasil, Australia y México

	Australia	Brasil	México
Condiciones de los factores	Gran superficie para el cultivo (I). La falta de fertilidad del suelo es una grave limitación en el uso de la tierra (I). Condiciones climáticas (lluvia y agua), pero suficiente pero hay sequías (I). Mano de obra es cara (especializados y cualificados) y escasa (I y F). Contratistas y consultores utilizan cada vez más recursos de mano de obra especializada para operar los bienes de equipo sofisticado (F). Buena infraestructura (I y F). Programas de I + D financiados y alentados por Gobierno, la Industria Individual, agricultores y organizaciones sectoriales (I). Sector del azúcar altamente intensivo en capital, sector bancario como fuente esencial de recursos (I y N).	Abundantes recursos naturales (I). Mano de obra en la cosecha no es cualificada (I y F). Falta de recursos humanos especializados en las operaciones internacionales. Actividades de I + D para mejorar las variedades de caña de azúcar y la creación de la tecnología propia para aprovechar el Etanol combustible a partir de la caña de azúcar y la cogeneración (I y F). Amplia red de distribución de Etanol. Mejoramiento necesario en la infraestructura. Atractivo para los usuarios finales de azúcar y para uso industrial del azúcar (I).	Gran Superficie dedicada al cultivo (I), mano de obra en el sector primario no es calificada, alto desempleo y emigración a U.S.A.(I y F), No existen actividades e inversión en I+D y educación en la cadena del azúcar ni tecnología propia, la Maquinaria agrícola e industrial es importada, la industria es obsoleta e ineficiente y contaminante, la práctica de quema de la caña para la zafra está extendida (I y F), la infraestructura es deficiente, la productividad del sector es baja, tanto en campo como en fábricas y los costos de producción elevados, el desempeño competitivo actual del sector es muy inferior a su potencial (I y F), el crédito es caro y escaso (I y N),
Condiciones de la demanda	Las condiciones del mercado interno no han desempeñado un papel importante, pequeño tamaño de la población (I). De hecho, ha dependido del sector del azúcar en el mercado de exportación y como la industria ha respondido a la evolución de la demanda de los clientes extranjeros, la variedad de productos para los consumidores domésticos ha mejorado (I).	Naturaleza de la demanda doméstica para el azúcar y el alcohol es alto y de contrabalanceo (I). Los consumidores locales son menos exigentes que los consumidores internacionales (I y F). La demanda por parte de los fabricantes de alimentos incluidos las que producen bebidas gaseosas, chocolates, helados, galletas y pastas representan alrededor del 35% -45% del consumo nacional de azúcar. El restante 55% -65% es directamente consumido en los hogares (I).	La industria azucarera está fundamentalmente basada en el mercado interno y un pequeño margen de exportación dentro del TLCAN y otros destinos internacionales(I), El consumidor doméstico consume azúcar crudo, no existe diferenciación de productos (I y F). La demanda de blanco es hacia el sector alimentos, refrescos, panadería, confitería y otros (I), el mascabado prácticamente ha dejado de producirse y los subproductos no se industrializan en gran escala.
Industrias relacionadas y de apoyo	Altos estándares de operación y la mejora de la seguridad alimentaria y la calidad han sido una ventaja (F). El programa de I + D entre las partes interesadas ha dado lugar a nuevas variedades de caña y al mejoramiento genético (I). Los sectores productores de fertilizantes químicos siempre proporcionan servicios de consultoría a los agricultores. El retiro de Gobierno y la desregulación conduce a una mayor competencia entre los proveedores (F y I).	Diseñadores y productores especializados en la tecnología de producción limpia (en combustibles y energía) (F). La industrialización de subproductos (F). Co-generación de energía (I).	Un reducido número de ingenios azucareros está certificado en sus procesos industriales (F), El sector primario depende fundamentalmente de 2 variedades de caña, la investigación es precaria (I), la industrialización de subproductos es limitada, la mayoría de los ingenios los comercializa a otras empresas (F), los proyectos de etanol y cogeneración están limitados

<p>Estrategias, estructura de la empresa y rivalidad</p>	<p>Mayoría de las empresas operando son de propiedad familiar (F). La industria está dominada por unas pocas grandes empresas (I). La competencia se plantea en el sector de la transformación por la naturaleza estacional de la cosecha de la caña de azúcar para maximizar el rendimiento del capital invertido (F). Los procesadores, exportadores, y el Gobierno de Australia han promovido activamente el producto en el mercado internacional (N). "Una mesa de venta" en el mercado internacional del azúcar (N).</p>	<p>308 fábricas de azúcar, varias de propiedad y/o gestión familiar (F). Principal medio de la competencia en el sector del azúcar es a través de precios bajos y de la contribución y/o diferenciación de productos de insumos de recursos naturales de poco valor (cachaza, aguardiente, mieles, rapadura etc) algunos de baja diferenciación y valor agregado al azúcar (F). Varios ingenios tienen problemas financieros, lo que reduce la amplitud de estrategias (I y F). Para el etanol, la estrategia se basa en el alto precio de la gasolina, menos costoso combustible renovable en el mundo, el uso de etanol se traduce en reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y por último la apertura de los mercados internacionales de Etanol (I y F). En este la rivalidad es hacia otras empresas productoras de energía (F).</p>	<p>44 empresas agrupadas en 12 grupos azucareros y 13 del gobierno (F), la mayoría de los ingenios tienen problemas financieros (I y F), no existen estrategias comerciales, el enfoque es hacia la oferta y no hacia el consumidor con baja diferenciación y diversificación y la situación del mercado azucarero es confidencial (F); es un sector en dependencia cuya salud y permanencia deriva de que en el mercado mexicano se tienen precios al mayoreo que son mucho más altos que los que imperan en otros mercados, o del producto sucedáneo más importante (I y F)</p>
<p>Papel de la Oportunidad</p>	<p>La entrada de Reino Unido a la UE. Emergencia del mercado asiático (N). Las fluctuaciones de las barreras comerciales (N). Crisis económica mundial y el impacto del tipo de cambio convierte el azúcar de Australia costosa (N).</p>	<p>Crisis del petróleo de la década de 1970 actuó como motivación para el desarrollo de PROÁLCOOL programa de producción de alcohol combustible para automóviles (N).</p>	<p>La crisis internacionales no han servido de catalizadores, la entrada en el TLCAN agudizo una crisis del sector de varias décadas, la más reciente requirió la intervención del Estado vía la expropiación de 27 ingenios (N), no existen programas de diversificación, ni de entrada a nuevos mercados con nuevos productos innovadores</p>
<p>Rol del gobierno</p>	<p>El Gobierno desreguló el mercado doméstico (N). A través de políticas, se creó el medio ambiente en el que las empresas pueden mejorar la ventaja competitiva (I y N).</p>	<p>La principal política fue la desregulación del sector alimentario (producción de azúcar) al sector de la energía (etanol) (I y N). Gobierno legislo el porcentaje de Etanol en la mezcla alcohol-gasolina. Aunque sus políticas a menudo no son claras (I y N).</p>	<p>El gobierno controla el precio de la materia prima y del azúcar, no se han creado las condiciones para liberar los precios y mejorar la competitividad de la agroindustria azucarera, falta de información (mercados, costos, oportunidades de competencia) y serias deficiencias en infraestructura (N)</p>

Las letras entre paréntesis indican efectos sobre la empresa (F), industria (I), y la nación (N).

Cuadro 1.14. Análisis comparativo a nivel nacional, industria y empresa

	Australia	Brasil	México
Ámbito nacional	El impulso de las políticas públicas en los últimos 25 años se ha orientado hacia las reformas y la desregulación con el énfasis en la introducción en el entorno más competitivo en el mercado interno para promover una mayor eficiencia	Política y las reformas económicas en 1970 y 1980 condujo a que la producción de caña de azúcar recibiera considerable apoyo del Gobierno en virtud de PROALCOOL - el fomento de la producción nacional de etanol combustible. Bajo el programa, algunas de las tierras agrícolas más productivas se desviaron a la producción de caña de azúcar. Nuevas reformas en el decenio de 1990 contribuyeron a una mayor orientación de mercado y entorno macroeconómico estable para la inversión extranjera directa traducido en el aumento de la eficiencia en el sector del azúcar y los biocombustibles. El Gobierno alentó actividades de investigación y desarrollo.	Los decretos cañeros de 1974, 1975, 1980 y 1991 declararon de interés público la siembra, el cultivo, la cosecha y la industrialización de la caña de azúcar, y en consecuencia, dichas actividades quedaron sujetas a las disposiciones de los decretos, sin embargo no lograron sistematizar la modernización de la industria azucarera lo que origino recurrentes crisis en las décadas de 1980 1990 y 2000 debido a que la investigación fue abrogada de los decretos y el sector oficial la transfirió al sector privado sin apoyo financiero y tecnológico. Bajo el actual esquema del PRONAC la investigación se orienta al genoma funcional de la caña para el desarrollo de variedades con mayor biomasa especializado en edulcorantes, biocombustibles y la diversificación productiva y la agricultura de precisión.
Nivel Industria	La industria se ha comprometido a la desregulación y se concentra en: <ul style="list-style-type: none"> • La rentabilidad de toda la industria • Económicamente, ambiental, y socialmente sostenible; • En primer lugar Investigación, Desarrollo y Extensión; • Desarrollo de personal en la industria azucarera. 	La industria es impulsada por las condiciones económicas y del mercado en la creación de cadenas de valor productivo en las áreas de alimentos y energía. Esto ha llevado a la reestructuración de la industria, la adopción de nuevas tecnologías, capturar economías de escala y la innovación. Las empresas multinacionales han realizado importantes inversiones en caña de azúcar y de alimentos del sector energético.	La industria se ha comprometido a aumentar la capacidad de molienda de caña, la optimización del periodo de zafra y la modernización de la planta industrial, sin embargo, no se compromete en la desregulación porque argumenta que el gobierno no es claro en el rumbo de la agroindustria por exceso de leyes regulatorias principalmente en el sector energético y la falta de financiamiento
Nivel de empresa	Las operaciones se dirigen a efectivo y eficiente sistema de recolección, transporte y procesamiento de menor costo.	Actividades están dirigidas a mejorar los resultados económicos - una mayor eficiencia en las materias primas y el uso de energía disminuyendo la generación de residuos, la adaptación a las nuevas tecnologías y procesos para nuevos productos, reducción de los costes de financiación, la mejora de las condiciones de trabajo, y disminución de riesgos de accidentes.	La heterogeneidad del nivel productivo de los ingenios (51 % de media a alta productividad y 49 % de media a baja productividad) hacen que las actividades de los primeros se dirijan a mejorar las operaciones de campo y al uso optimizado de los insumos, reducir costos y a establecer programas de certificación internacional, mientras que el segundo grupo se dirige a sobrevivir para no perder subsidios federales por factores carácter social y político y no internos a la producción o los mercados.

Cuadro 1.15. Factores determinantes para la competitividad internacional por país

	Australia	Brasil	México
Efecto empresa	Las empresas azucareras de Australia seguirán hasta alcanzar la competitividad internacional a través de la diferenciación y la eficiencia generada a partir de sus recursos y capacidades	Empresas brasileñas eligen alcanzar la competitividad internacional a través de los recursos y capacidades generados a través de la eficiencia y ampliación de los sectores de la energía (etanol) y los alimentos (azúcar).	Las empresas mexicanas pretenden alcanzar la competitividad al abastecer plenamente el consumo nacional y exportar todos sus excedentes al mercado regional de Norteamérica. Además, de incursionar con éxito en la diversificación de edulcorantes y bioenergéticos.
Efecto industria	La competitividad internacional se logra a través de la diferenciación y altas eficiencias generadas en la industria a nivel de características de la unidad de estrategia de I + D de la industria.	La competitividad internacional directa e indirecta se lleva a cabo a través de los efectos emanados de la industria de alimentación y de energía del sector de la economía.	La competitividad se logrará al apropiarse de la demanda insatisfecha de azúcar y bioenergéticos en el mercado de Norteamérica, basado en el conocimiento de sus preferencias
Efecto de Estrategia	El aumento de la eficiencia y la productividad se considera la estrategia más eficaz a pesar de "competencia imperfecta".	La competitividad internacional del sector sucroalcoholero se logra a través de su posicionamiento de los recursos - naturales y creados, vinculados con el sector de la energía.	En condiciones de mercado regional de Norteamérica, reorientar el procesamiento de la materia prima para la producción de edulcorante o biocombustible y en la homologación de estándares de calidad, sanidad e inocuidad de los diferentes tipos de edulcorantes ofertados.
Efectos socio-política	Los efectos socio-políticos pueden cambiar el entorno actual en el mundo industria azucarera.	La competitividad internacional se da en el marco de los efectos socio-políticos que están determinadas por el cambio económico, los entornos institucionales, y los grupos de interés.	La capacidad de la economía azucarera para establecer prioridades para las oportunidades y amenazas que el actual mercado mundial del azúcar representa, es nula y la capacidad para responder eficazmente a la evolución de la economía mundial es limitada.

Los factores de producción sobre los que México basa su competitividad son la disponibilidad de materia prima al disponer de tierra cultivable de caña, el clima y la mano de obra barata. Esto implica una ventaja comparativa pero no competitiva por lo siguiente:

a). Al tener la base de la ventaja en el salario deprimido, no se fomenta la capacitación del trabajador para impulsar un empleo especializado. Por lo mismo, disminuyen casi totalmente las probabilidades de que el propio trabajador sea un elemento importante de innovación pues no cuenta con la preparación para ello y se elimina una de las fuentes de ventaja competitiva.

b). El excedente de tierras productivas y la facilidad que existe para acceder a ellas debido a los efectos de crisis agrícola (que generalmente se accede a ellas a través del arrendamiento), provoca su sobreexplotación y su consecuente pérdida de productividad. Dicho exceso además, no se convierte en un factor para innovar en nuevas formas de producir más eficientes.

c). La tecnología y capitalización de las unidades productivas, en lugares donde se ha dado, es en su mayoría importada, aumentando la dependencia del exterior y disminuyendo la capacidad para formar un centro de decisiones nacionales. Por ejemplo, la mayoría de las variedades de caña utilizada (Mex 69-290 y CP 72-2086) no son desarrolladas en los estados productores y en muchos de los casos no son producto de los centros experimentales nacionales cerrados en la década de 1990. En el caso de la tecnología y maquinaria utilizada en los ingenios azucareros, es traída de otros países y muchas de las que fueron incorporadas a su proceso productivo importadas de Cuba, Guatemala, Brasil y Estados Unidos.

d). La infraestructura administrativa es deficiente y es de corte tradicional de forma piramidal y de estilo burocrático, organizado de manera jerárquica donde las órdenes se dan de arriba hacia abajo, y cada departamento actúa casi de manera aislada en relación a los otros.

e). La infraestructura científica y tecnológica es prácticamente nula, no cuenta la Industria azucarera con proyectos innovadores y los avances en materia de desarrollo de nuevas variedades de caña se realiza en dos centros experimentales: Uno en el Estribo San Luis Potosí y otro en Tapachula Chiapas estos centros experimentales no cuentan con laboratorios modernos, ni con personal científico adecuado para un desarrollo biotecnológico que permita obtener variedades más resistentes al clima y a las plagas que la dañan. Por el lado de la fábrica azucarera, tampoco hay trabajos de desarrollo tecnológico que permita un proceso de innovación tecnológica que ayude a elevar los niveles de producción de azúcar y derivados de la caña (García, 2009; Domínguez, 2005; Sánchez, 2002).

En la Integración vertical y horizontal hay una elevada dependencia de agentes provenientes de otras regiones diferentes a la azucarera, dado que los pocos que existen localmente son muy débiles y están poco integrados.

a). *Los proveedores de insumos, maquinaria y tecnología son generalmente empresas trasnacionales y existe muy poca tecnología nacional. Ante ello, las empresas productoras dependen mucho del exterior sin obtener ventaja competitiva.*

b). *La comercialización, que como se ha mencionado es donde se genera la mayor parte de las utilidades, tiene el inconveniente que en la mayoría de los casos depende del poder unos cuantos clientes y la mayor parte de las ventas dependen de un cliente (Sánchez, 2002).*

c). *Las dependencias gubernamentales y las organizaciones cañeras poco han hecho para impulsar el sector, ya que en muchas ocasiones su acción está más enfocada a cuestiones políticas que económicas y en otros casos, los recursos no han sido suficientes para impulsar proyectos viables.*

En relación a la competencia los ingenios prácticamente tienen un mercado azucarero común para azúcar estándar y no está bien diferenciado, y se localiza en las centrales de abasto al norte, centro y sur del país mientras que el azúcar refinado es de uso industrial. La competencia que está enfrentando el azúcar es la importación de edulcorantes y que son distribuidos por los centros comerciales. Sin embargo, la amenaza más importante es la fructosa importada y la producida en territorio nacional con maíz importado que representa la posibilidad real de perder el mercado industrial del país (Domínguez, 2005).

La demanda de azúcar producida en México se localiza en el sector refresquero, panadero, alimentos y farmacéutico del país en las entidades donde se localizan estas empresas el resto del destino de su producción es fundamentalmente mercados locales. Los ingenios azucareros no han diseñado diferentes productos del mismo azúcar, pero que con tratamientos distintos pudieran atender demandas que satisfagan los gustos cambiantes que se están presentando en la demanda actual como son las azúcares saborizados o de diversa presentación física, que se destina a los consumidores tipo gourmet. No hay esfuerzos para generar distintas presentaciones en el envasado del azúcar, los ingenios venden a granel y otros intermediarios son los que se benefician de los márgenes de comercialización al darle valor agregado al envasar el producto para la atención del mercado de las familias.

Existen otros dos factores o elementos que también interactúan para determinar la competitividad y que forman parte del modelo que plantea Porter. Se trata de la casualidad y el papel del gobierno. De acuerdo con ello, la fuerte intervención gubernamental en México no ha contribuido en la generación de un espíritu empresarial, dado su fuerte paternalismo, lo que no se tradujo, ni se ha traducido en un proceso de innovación en lo productivo o administrativo y se ha convertido según Calva (2003) en un enorme laboratorio de experimentación neoliberal sin amplia visión de estado.

En forma contraria la industria azucarera de Australia es una economía dominada por las fuerzas del mercado, es la más vulnerable de todas las demás economías debido a la variabilidad de los precios internacionales en la medida del 80% de su producción es de exportación. Sin embargo, los refinadores han adquirido la fuerza y la reputación de ser los más eficientes, consistentes en calidad del producto final, conocimiento de los negocios internacionales, y una agroindustria altamente mecanizada. La industria está decididamente a favor del fuerte apalancamiento de estos atributos en la diversificación en las actividades vinculadas y no vinculadas a mejorar su bienestar económico. Los desafíos económicos que la industria australiana enfrenta principalmente en la inestabilidad de los precios del azúcar en el mercado mundial y los agricultores que cultivan caña en función exclusivamente de la supervivencia de la producción de azúcar y de su mercado (DAFF 2006, Gallagher, 2006, Bandaranaike 2005 Banerjee 2004, Trendle 2003 y Cox, 2002)

La diversificación del monocultivo de caña de azúcar se contempla como una opción para mejorar la productividad agrícola y, en definitiva, los ingresos. Esta opción tiene las limitaciones de: Geografía, inversión de capital necesario, acceso a los mercados, y la productividad de la caña de azúcar.

La Industria australiana considera que es más viable buscar la diversificación de los productos de la caña de azúcar, utilizando los equipos existentes, infraestructura, y la creciente especialización, sin menoscabo de la viabilidad de la totalidad de los distritos cañeros. Cierta diversificación como la cogeneración de electricidad y los usos de melaza han sido posible gracias a los ingenios azucareros, pero los beneficios de los ingresos directos no fluyen a los productores

En contraparte, La industria azucarera de Brasil tiene las debilidades inherentes de una economía en desarrollo, pero está protegida hasta cierto punto desde el mercado mundial del azúcar por su confianza en el sector energético nacional. Los recursos naturales de Brasil en la producción de caña de azúcar y sus planes innovadores y eficaces en el sector de la energía, lo convierten en empresas únicas y competitivas a largo plazo. Brasil ha tomado un camino de diversificación productiva desde los años 1980 y 1990 desde una posición defensiva de la década de 1970 que fue debido a las dificultades económicas de la crisis mundial del petróleo.

Los imperativos socio-económico-político para sobrevivir a la crisis dio lugar en Brasil a la búsqueda del perfeccionamiento activo para aprovechar sus abundantes recursos naturales heredados de las plantaciones masivas de caña de azúcar. Esto creó la estrategia de la bioenergía no sólo durante la crisis del petróleo de la década de 1970, sino también para convertirse en el mayor productor de etanol y azúcar. Hoy en día, Brasil se encuentra en una posición tal que se lanzó en una estrategia agresiva de exportación gracias a su autonomía tecnológica de fabricación de etanol combustible de caña de azúcar, la formulación de políticas que atraigan la inversión extranjera directa, al mismo

tiempo, ha atacado el régimen de protección de la UE para el azúcar para una equilibrada competencia en el mercado mundial de azúcar. El objetivo de ser competitivo transformó a Brasil en un polo para desarrollar variedades de caña de azúcar. Mediante las investigaciones, se han desarrollado al menos 70 variedades de caña de azúcar, cada una de ellas específica para un tipo de suelo y para determinadas condiciones climáticas, lo que permite obtener un mejor desempeño de los cañaverales siguiendo el concepto de matriz de ambiente, es decir, tomando en consideración el suelo, el clima y la disponibilidad de agua (Furtado 2008, Neves 2007, van den Wall Bake 2006 y Farina 1998),

1.9. Sistema Agroindustrial Caña de Azúcar de México

Merchand (2005) menciona que existen una serie de instrumentos metodológicos que han abordado exhaustivamente el significado de agroindustria, desde los conceptos más clásicos de la economía agrícola, como son las nociones de complejo agroindustrial y de núcleo de (Vigorito, 1982) los enfoques tradicionales del Agribusiness, Malassis, FAO y de la Universidad Autónoma Chapingo. En este último, la forma de concebir y abordar la agroindustria está influida por la práctica de los individuos, grupos de investigación, instituciones y organizaciones que desarrollen dicha práctica, así como la problemática, las contradicciones, y conflictos sociales que se dan en la agroindustria así como en el proceso de reproducción social. Por lo tanto, para abordar el estudio de la agroindustria se plantean niveles de estudio que constituyen abstracciones para abordar el fenómeno agroindustrial ante su complejidad, y que agregan diferentes fenómenos técnicos, económicos y sociales:

1. Operaciones y procesos unitarios
2. Planta agroindustrial
3. Unidad de producción agroindustrial
4. Cadena agroindustrial
5. Sistema agroindustrial

El sistema agroindustrial⁶ se concibe como un conjunto de estructuras vinculadas entre sí y que incluyen diferentes ramas de la producción y diversos fenómenos que forman parte de una unidad técnica y económicamente homogénea en torno a las distintas etapas por las que atraviesa el producto hasta llegar a su destino final (consumo industrial o humano). Es una expresión de la división social del trabajo

⁶ La base teórica que sustenta el concepto de sistema agroindustrial está construido a partir de la Teoría de la Organización Industrial y de la Nueva Economía Institucional, en especial, más no exclusivamente, por la vertiente representada por la teoría de los Costos de Transacción. Según Farina, (1998), la Nueva Economía Institucional (NEI) es una extensión de la Moderna Organización Industrial, enriqueciéndose con una especificación más completa y detallada del ambiente institucional y de las variables transicionales, que caracterizan la organización de las firmas y de los mercados, además de incorporar los efectos retroalimentadores y las interacciones entre el ambiente institucional y las estructuras, el comportamiento y el desempeño de las organizaciones.

de especialización productiva por línea de producto, la diversidad de plantas y unidades de producción que se distinguen por procesar una sola línea de materias primas. La metodología de estudio surgió a partir de la teoría de sistemas en los análisis sobre la producción (Flores *et al*, 1991) y ha sido abordada por diversos autores (Galindo 2003; García 2000; Martínez, 1998)

Para Gutman (2003, 1998); Farina, (1998) y Sánchez, (2003), los segmentos del sistema agroindustrial están relacionados por variables tecnológicas, económicas⁷ y organizacionales. No se trata apenas de una relación vertical de transformación de producto, también de un flujo de información que procede de todos los elementos que componen ese sistema, en especial, la información proveniente del mercado y de otros ambientes externos a las firmas parte de un enfoque sistémico⁸ que revele a la vez las articulaciones e interdependencias productivas y tecnológicas y las asimetrías económicas entre los agentes participantes, en un

⁷ El análisis económico de la agricultura se ha basado, en la mayor parte de los países, en la utilización del paradigma neoclásico, abandonándose numerosas aportaciones propias de los economistas agrarios en relación con problemas específicos del sector objeto de análisis. Pero el paradigma neoclásico ha demostrado tener unas limitaciones importantes para analizar los problemas de la economía. El paradigma neoinstitucionalista, con la endogeneización de las instituciones en el análisis económico permite explicar de una forma más correcta el funcionamiento de la economía en su conjunto o de determinados aspectos parciales. El nuevo paradigma está siendo utilizado por parte de los economistas agrarios ya que permite considerar determinados problemas tratados por economistas agrarios "tradicionales" y que habían sido apartados por la teoría neoclásica, basada en unos supuestos de comportamiento que condicionaban los resultados. El nuevo paradigma también se demuestra de gran utilidad para explicar determinados aspectos del funcionamiento del sistema agroalimentario (integración y coordinación vertical, cooperativas de agricultores, problemas de contratación, problemas de innovación, etc) o del desarrollo rural, dos temas de gran actualidad e importancia como ampliación del campo de estudio de los economistas agrarios (Merchad, 2005)

⁸ Uno de los puntales básicos de la teoría económica es el enfoque sistémico que intenta comprender el funcionamiento de la sociedad desde una perspectiva integradora, en donde lo importante son las relaciones entre los componentes. El enfoque sistémico no concibe la posibilidad de explicar un elemento si no es precisamente en su relación con el todo. Metodológicamente, por tanto, dicho enfoque es lo opuesto al individualismo metodológico, aunque esto no implique necesariamente que estén en contradicción. El enfoque sistémico y que no es otra cosa que la llamada Teoría General de Sistemas. El vocabulario básico de la Teoría General de Sistemas, incluye entre otros los siguientes conceptos: sistemas y subsistemas entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*), cajas negras y realimentación. El sistema es un conjunto organizado de elementos que interactúan, formando un todo complejo, identificable y distinto. Por elementos de un sistema se entienden no sólo sus componentes físicos sino las funciones que estos realizan.. Los sistemas reciben del exterior entradas (*inputs*) en forma, por ejemplo, de información o de recursos físicos, o de energía. Las entradas son sometidas a procesos de transformación como consecuencia de los cuales se obtienen resultados o salidas (*outputs*). Se dice que hay realimentación o retroalimentación (*feed-back*) cuando parte de las salidas de un sistema vuelven a él en forma de entrada. La realimentación es necesaria para que cualquier sistema pueda ejercer control de sus propios procesos (López, 2007).

intento de contribuir a la superación de las limitaciones de los enfoques tradicionales, en especial el de cadenas de Vigorito y el de *filiéres de Malasis*. La metodología que proponen los autores y que se seguirá de aquí en adelante, es la de subsistema.

Un subsistema, es un recorte analítico particular del espacio económico, un subespacio de producción y circulación que los investigadores de la Universidad Autónoma Chapingo denominan “abstracción” el que, asentado en relaciones técnicas de producción que conforman eslabones dentro de las cadenas productivas, posibilita el desarrollo de relaciones directas de acumulación que producen y reproducen poderes económicos asimétricos entre las empresas intervinientes.

Los campos cañeros, los ingenios azucareros, trapiches y los grupos empresariales productores y consumidores se encuentran distribuidos como la agroindustria de la caña de azúcar en 15 estados de la República: Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz; cerca de la mitad de la producción total del país se concentra en la costa central del Golfo de México, principalmente en el estado de Veracruz. La región del Golfo, el noreste y la costa central del Pacífico representan, combinadas, más de 80 % de la producción total (COLPOS, 2003) (Cuadros 1.16 al 1.18).

Cuadro 1.16. Destino de la producción de caña de azúcar (SIAP, 2009)

Estado Productor	Destino de la producción de caña de azúcar (t)		Superficie cosechada (ha)
	Azúcar (Ingenios)	Piloncillo (Trapiches)	
Campeche	284,217.72	274.13	13,061.9
Chiapas	1,680,309.27	7,381.36	26,325.85
Colima	554,649.88	6.00	14,311.40
Jalisco	4,137,954.11	36,275.96	68,556.00
Michoacán	899,835.18	3,972.83	14,741.81
Morelos	1,487,448.74	2,254.00	21,867.55
Nayarit	1,940,388.92	10,039.00	40,319.19
Oaxaca	2,447,616.34	22,880.54	63,257.61
Puebla	1,271,184.07	3,181.32	19,119.81
Quintana Roo	1,238,769.31	4,782.00	30,691.43
Sinaloa	2,080,231.60	4,753.75	10,717.08
San Luis Potosí	2,445,078.52	38,274.81	86,566.64
Tabasco	1,192,752.97	2,463.12	27,663.46
Tamaulipas	2,346,157.88	239.60	47,453.68
Veracruz	13,673,456.86	219,217.61	296,364.96
Total Nacional	37,680,051.37	355,996.03	781,018.37

Cuadro 1.17. Ingenios y grupos azucareros

Grupo Azucarero	Ingenios	Grupo Azucarero	Ingenios
AGAZUCAR	Los Mochis Puga	Grupo Motzorongo	Central Motzorongo El Refugio
SAGARPA-FEESA	Atencingo El Modelo Emiliano Zapata Plan de San Luis San Miguelito José María Morelos La Joya Casasano El Potrero La Providencia San Cristóbal San Pedro	Grupo Porres	Santa Clara Huixtla
		Grupo PIASA	Adolfo López Mateos Tres Valles
		Grupo Sáenz	Aarón Sáenz Garza El Mante Tamazula
		Ingenios Santos	Alianza Popular Plan de Ayala Bellavista Pedernales Cuatotolapam San Gabriel
Grupo Azucarero México	Tala Benito Juárez Lázaro Cárdenas Eldorado	Zucarmex	Pujiltic Mahuixtlán El Higo Melchor Ocampo
Grupo García González	Calípam El Carmen Nuevo San Francisco	Independientes	Ingenio El Molino Azsuremex Ingenio La Concepción Ingenio La Primavera Ingenio San José de Abajo Independencia
Grupo La Margarita	Central Progreso Zapoapita La Margarita		
Servicios Azucareros del Trópico	La Gloria	Domino Foods De México	San Nicolás
Beta San Miguel	Constancia San Francisco Ameca San Miguel Naranjo San Rafael Pucte Queseria Santa Rosalía		

Cuadro 1.18. Ingenios azucareros por estado

Estado	Ingenios	Estado	Ingenios
Quintana roo	San Rafael de Pucté	Chiapas	Pujiltic
San Luis Potosí	Alianza Popular	Michoacán	Huixtla
	Plan de Ayala		Pedernales
	Plan de San Luis		Lázaro Cárdenas
	San Miguel del Naranjo		Santa Clara
Veracruz	Independencia	Morelos	Casasano
	Cuatotolapam	Nayarit	Emiliano Zapata
	El Modelo		El Molino
	El Potrero		Puga
	La Providencia	Puebla	Atencingo
	San Cristóbal		Calípam
	San Gabriel	Sinaloa	Eldorado
	San Miguelito		los Mochis
	San Pedro		La primavera
	Zapoapita		Azsuremex
	Central Motzorongo	Tabasco	Santa Rosalía
	Central Progreso		Benito Juárez
	Constancia		Aarón Sáenz Garza
	El Carmen	Tamaulipas	El Mante
	El Higo	Campeche	La Joya
	La Concepción	Colima	Quesería
	La Gloria	Jalisco	Bellavista
	Mahuixtlán		José María Morelos
	Nuevo San Francisco		Melchor Ocampo
	San Jose de Abajo		San Francisco Ameca
	San Nicolás		tala
	Tres Valles		Tamazula
	Adolfo López Mateos		Total Nacional
El Refugio			
La Margarita			

La producción de azúcar en México depende de tres elementos fundamentales: a) la cantidad de caña industrializada, b) el rendimiento en fábrica, y c) la capacidad instalada y aprovechada de los ingenios azucareros. La cantidad de caña molida depende a su vez del rendimiento en campo y la superficie que se cosecha con fines de industrialización, esta superficie podrá o no incrementarse, dependiendo de diversos factores, de los cuales se destacan el precio de liquidación de la caña y la rentabilidad de este cultivo con respecto a otros cultivos competitivos por los recursos disponibles de tierra, trabajo y capital.

La estructura productiva corresponde a una producción durante la zafra 2007/2008 de 1,702,110 toneladas de azúcar refinado o blanco que durante el periodo correspondiente a las zafras 2000-2009 disminuyo en 138,539 toneladas de este tipo de azúcar debido a que los ingenios La Joya, Plan de San Luis y La Providencia dejaron de producirlo y Benito Juárez y El Mante redujeron su producción, el mascabado paso de 62,460 a 12,474 toneladas para incrementar la producción de estándar o crudo 785,582 toneladas para llegar a 3,806,103

toneladas (en 2000/2001 eran 3,020,521 t.) y 1 9,427,526 L de etanol. Es decir, se dejaron de producir 42, 198,666 L en el periodo 2000/2009 en los ingenios La Joya, Calipam, Aarón Sáenz Garza, El Mante, Independencia, El Potrero, El Carmen y San José de Abajo debido a lo incosteable del proceso canalizando las mieles finales al mercado nacional o internacional y los restantes Tamazula, Constanca y San Nicolás redujeron drásticamente su producción en el periodo.

En el periodo analizado, los Ingenios: San Sebastián en Michoacán y Santo Domingo en Oaxaca cerraron lo que representa en conjunto un retroceso en la capacidad productiva y diversidad de los derivados de la caña de azúcar en el termino de ocho años caracterizados por tres eventos, la expropiación de 27 ingenios en 2001, la implementación de un gravamen de 20 % al uso de fructosa en 2002 (Organización Mundial del Comercio (OMC) falló a favor de la eliminación en 2006) y la apertura total comercial dentro del TLCAN para los edulcorantes en 2008 (Figuras 1.25 al 1.27).

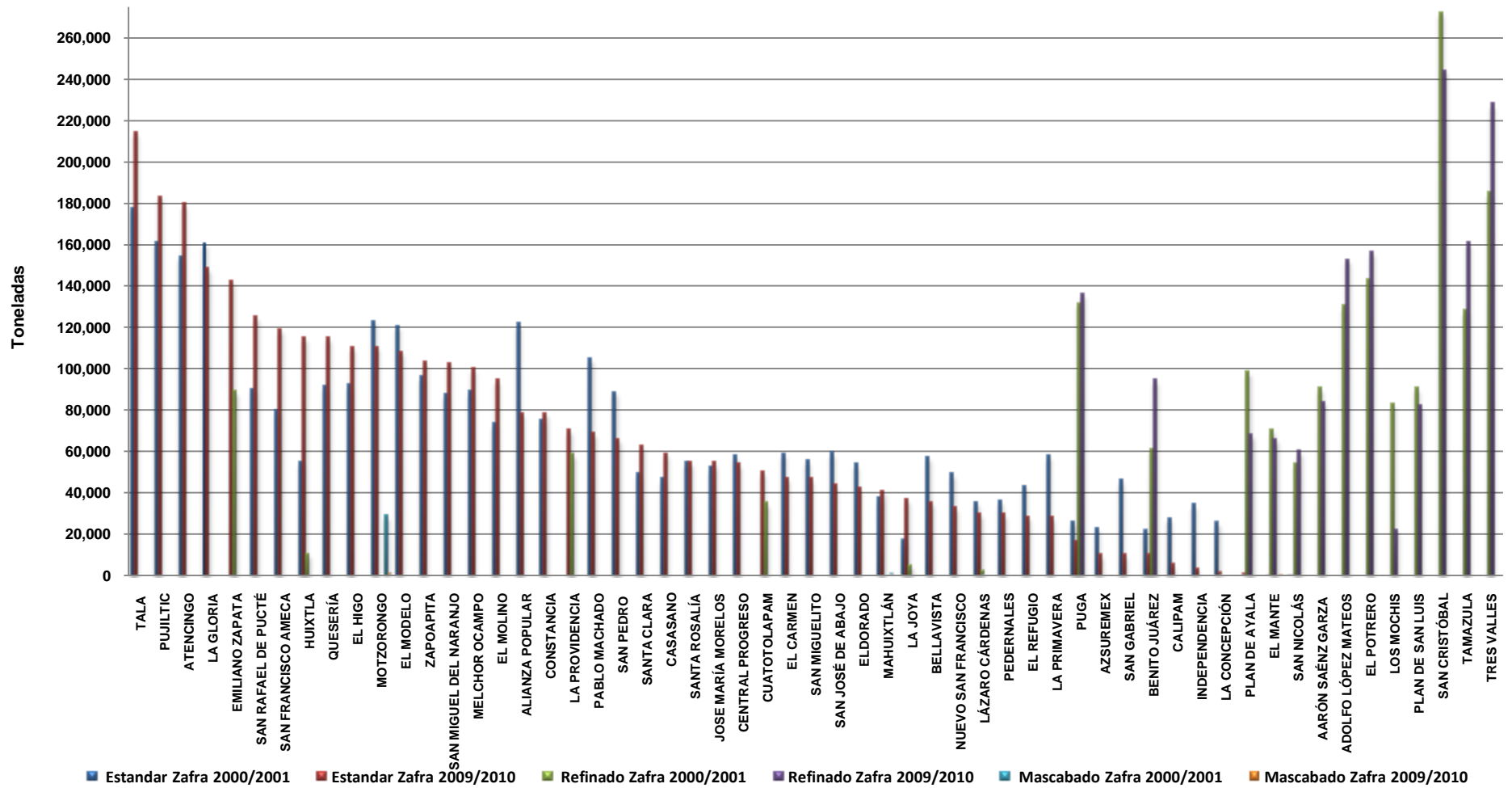


Figura 1.25. Producción de azúcar de caña en ingenios azucareros (2000/2010) (CNPR, 2011)

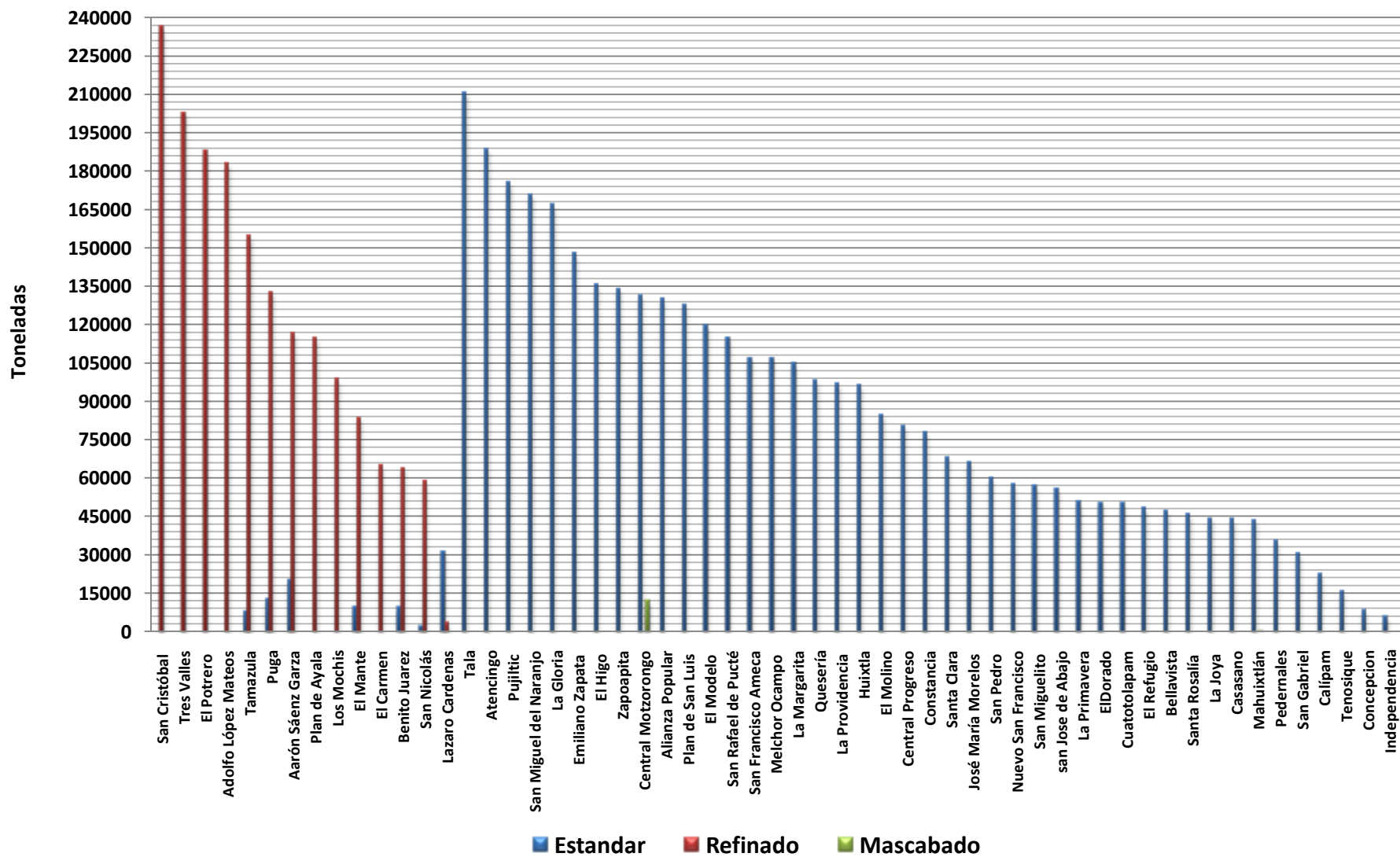


Figura 1.26. Estructura productiva de los Ingenios Mexicanos zafra 2009/2010 (CNPR, 2011)

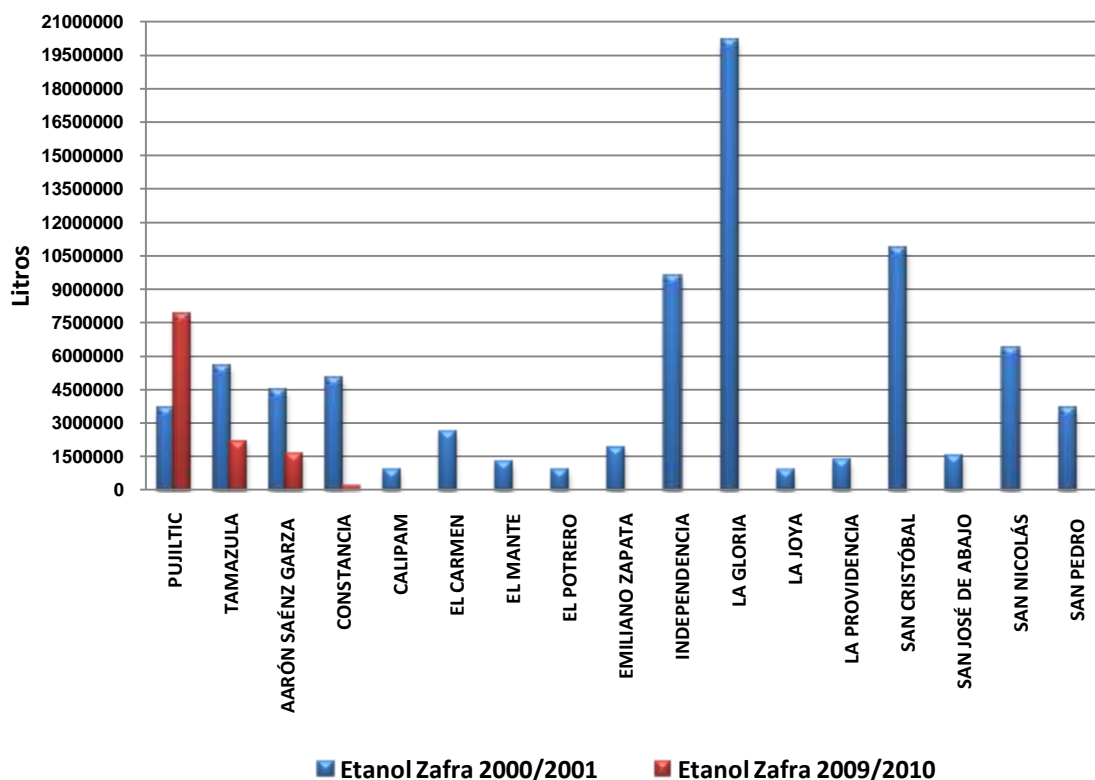


Figura 1.27. Producción de etanol 2000-2008

García Chávez, (2008) y Medwid, (2008) anotaron que a finales de la década del 2000, los complejos problemas son de tipo estructural⁹, muchos de los cuales tienen su origen en el desarrollo histórico de la misma¹⁰ otros son producto de las nuevas condiciones que imperan en la economía mundial y en el modelo de desarrollo que se ha impuesto para México donde la influencia de los productores e industriales se limita a los aspectos técnicos de sus operaciones y el subsistema campo no produce la cantidad de caña necesaria para la molienda, la materia prima que se procesa es de mala calidad y los ingenios azucareros trabajan con pérdidas de sacarosa y bajo nivel de extracción, elevados tiempos perdidos debidos a paros por reparaciones por lo

⁹ La enorme brecha de productividad de la agroindustria de la caña de azúcar con los países líderes se deriva de serios problemas estructurales congruentes con las realidades del comercio mundial y de políticas fallidas en el sector agropecuario desde hace ya varias décadas, como ejemplo, dentro de los socios comerciales del TLCAN se tiene que Estados Unidos realiza enormes inversiones en investigación, innovación tecnológica e infraestructura, políticas agrícolas de precios y subsidios que han al garantizar la rentabilidad de las granjas han favorecido su capitalización y tecnificación continuas y están a salvo de las oscilaciones internacionales, es decir, Estados Unidos se ha convertido en la primera potencia agrícola y en el mayor exportador de productos agropecuarios gracias a sus perseverantes políticas agrícolas diseñadas con horizontes de planeación a largo plazo y se expresa en la productividad del trabajo por los factores rendimiento por hectárea y área de cultivo por hombre ocupado en el sector (Calva, 2004 y Zermeño, 1996).

¹⁰ Casas (1991) había anotado, la crisis del sector agropecuario en México no depende de la introducción de nuevas tecnologías, ya que es ampliamente conocido que la crisis que presenta es más bien de orden político.

obsoleto de los equipos elevando los costos; Por lo tanto para México, el rendimiento de las operaciones de la fábrica de azúcar depende en gran medida de estos factores. Esto sumado a la caída en la productividad de la industrialización de los derivados de la caña, la persistencia del bajo nivel de los precios mundiales, hacen que numerosos autores como Aguilar (2009); Merters (2008); Viniegra, (2007); Castillo (2005); Olivares, (2004); Rappo (2002) y otros, planteen que, la industria de la caña de azúcar en México enfrenta una crisis¹¹ de competitividad desde hace varios años por diversas causas y mas que el aspecto meramente tecnológico la agroindustria requiere de alternativas que resuelvan de raíz los problemas que se han gestado por varias décadas en los ingenios y sus áreas de influencia, así como los que corresponden al subsistema mercado.¹²

1.9.1. Productividad de la agroindustria de la caña de azúcar

Con el fin de comparar el desempeño competitivo de la agroindustria de la caña de azúcar se utilizan varios parámetros a nivel internacional con objetivo de identificar las áreas de la fábrica y el campo que merecen más atención con respecto a su rendimiento; Los principales indicadores de desempeño son rendimiento de campo (t. caña/ha), rendimiento de fábrica (%), Rendimiento agroindustrial (t. sacarosa/ha), pérdidas de sacarosa (%), días de zafra, tiempos perdidos (%), consumo de petróleo (L/t caña), % fibra en caña, capacidad instalada (t. caña/24 h), grado de utilización de la capacidad instalada (%), sacarosa en caña (%), recuperación de sacarosa (%), costo de la materia prima (\$/tonelada de caña) etc. (COLPOS, 2003; García, 2000)

Estos indicadores reflejan la eficiencia general de la fábrica de azúcar, desde el cultivo de caña a la producción de azúcar, son puntos de referencia como parámetros comparativos de medición del rendimiento que indican el nivel de eficiencia y productividad de una fábrica a otra, incluso entre los diversos

¹¹ Ayres (1987) lo define como un fenómeno análogo de envejecimiento que afecta a las instituciones humanas y a las naciones. Estas se vuelven crecientemente inflexibles, y gradualmente pierden la habilidad para adaptarse al cambio. Las grandes organizaciones se vuelven burocráticas y se sobrecargan de reglas y regulaciones; no pueden responder rápidamente ni a las amenazas ni a las oportunidades. Aun más la tecnología de producción tiende a ser altamente especializada e inflexible, un aspecto muy significativo en términos de direcciones futuras de la tecnología.

¹² La preocupación por la crisis de la industria azucarera está presente en la mayoría de los discursos y agendas de los principales actores sociales, políticos, económicos y académicos actuales. La mayoría plantea el desarrollo como vía para la solución de esos problemas. Más aún, los adjetivos “sustentable” y “competitivo” parecen hoy un concepto generalizado y una condición para la legitimación social de la idea de desarrollo. Sin embargo, son muy variados y distintos los sentidos desde los cuales se conciben los problemas y se plantean los diagnósticos. Cuando nos aproximamos a la problemática de las concepciones del desarrollo se evidencia en primer lugar que se trata ante todo de una cuestión eminentemente práctica, y más precisamente política, ya que la producción de discursos con pretensión de validez social sobre el desarrollo de la agroindustria azucarera no está principalmente orientada a definir (ya sea normativa o descriptivamente) cómo es y en qué consiste el desarrollo de la misma, sino a legitimar y justificar prácticas, decisiones y formas de intervención en la realidad social” (Chiarulli, *et. al*, 2003)

países. Al establecer los parámetros, se debe prestar atención a las características de la fábrica con respecto al máximo de su capacidad en cada fase de transformación (manejo de caña, molienda, planta de vapor, planta eléctrica, clarificación, evaporación, tachos, condensación y vacío, cristalizadores, centrifugación, refinera, secado y envase) el nivel de automatización, la calidad de la materia prima (caña de azúcar) y el estado de la tecnología (obsolescencia, innovaciones, mantenimiento y la formación y capacitación de los operadores).

Para el subsistema campo el *Rendimiento de caña de azúcar* (t/ha) es el parámetro clave del cultivo de la caña y es muy importante desde el punto de vista de la disponibilidad de caña de azúcar para la fábrica. Cuanto más alto sea el rendimiento promedio de caña será el mejor indicador de las prácticas de cultivo empleadas por los productores de caña. El azúcar y el contenido de fibra en la caña depende de una serie de factores, entre ellos la variedad de caña, cantidad y disponibilidad de agua, cantidad, calidad y oportunidad en la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, tipo de suelo utilizado para el cultivo, prácticas culturales, condiciones climáticas durante el cultivo, control de plagas, malezas y enfermedades etc. y junto al rendimiento agroindustrial son los indicadores de eficiencia del cultivo de la caña. Cuanto más alto sea el contenido de azúcar en la caña, más altas será las perspectivas de recuperación de azúcar (Seebaluck, 2008) en comparación con otros países azucareros en los que México se encuentra en desventaja comparativa y competitiva (Cuadro 1.19).

Cuadro 1.19. Indicadores productivos de países azucareros (Seebaluck, 2008)

Indicador	México	Brasil	Mauricio	India	Sudáfrica
Caña por hectárea	64	83	72	65	62
Duración de la zafra	144	210	116	100 - 180	240
Sacarosa en caña	13.815	14.0	12.1	11.5 - 15.0	13.0
Fibra en caña	13.26	12.9	15.3	12.5 - 15.0	14.9
Extracción jugo mezclado	95.03	102	100	90-100	121.5
No. de fabricas	57	320	11	453	15
Capacidad de molienda	294	100 - 1500	70 - 275	100 - 150	90 - 550
Rendimiento de fábrica	11.6	12.6	10.7	10.4	13
Bagazo en caña	29.09	27.4	30.8	30.0	31.1
Sacarosa en bagazo	2.41	2.50	1.26	0.50 - 0.75	1.00
Humedad en bagazo	51.05	47.0	49.7	48.0	51.0
Perdidas de sacarosa en bagazo	0.72	0.7	0.39	0.75	2.28
Perdidas de sacarosa en cachaza	0.14	1.0	0.07	0.06	0.23
Perdidas de sacarosa en miel final	1.25	0.0	0.91	1.10	0.98
Aprovechamiento de sacarosa	82.5	96.5	97.5	96.0	89.1

A partir de los datos de instituciones oficiales y sectoriales se realizó un análisis de la productividad de la agroindustria de la caña de azúcar considerando los subsistemas campo, fábrica y mercados considerando la clasificación productiva de ingenios azucareros, grupos azucareros y estados productores de acuerdo a la metodología de del Centro Nacional de Investigaciones de la caña de Azúcar de Colombia

CENICAÑA¹³ partiendo de los indicadores de productividad azucarera más empleados en el mundo:

1. El rendimiento de materia prima por unidad de superficie (TCH)
2. El rendimiento azucarero en la materia prima (RF)
3. El rendimiento agroindustrial, esto es la cantidad de azúcar producida por unidad de superficie (TAH)

A partir de estos indicadores se construyeron diagramas Isoproductivos (Figuras 1.28 al 1.30) para el periodo de las zafras 1999/2000-2008/2009, un análisis de indicadores secundarios para determinar en qué medida el desempeño de la productividad depende de esos factores básicos y de otros derivados y la matriz de ponderación de factores productivos de los subsistemas campo y fábrica y obtener un índice de productividad de clasificación de ingenios (Cuadro 1.20) en el análisis de los datos de productividad del sector reportados en diversas bases de datos (COLPOS 2009, SIAP 2009, CNPR 2009, CNIAA 2010, ZAFRANET 2009, Manual Azucarero Mexicano 2010, y COAAZUCAR, 2007)

Cuadro 1.20. Matriz de ponderación de productividad de ingenios azucareros (Martínez y Saucedo, 1998)

Ingenio:		Grupo azucarero:				Zafra:	
Factores de productividad	Unidad	Puntos				Peso	Subtotal
		4	3	2	1		
Superficie cosechada	Miles ha	>12	12-10	10-6	<6	1	
Azúcar producida	Miles t	>80	80-70	70-50	<50	3	
Rendimiento de fábrica	%	>10	10-9	9-8	<8	3	
Extracción de sacarosa	%	>81	81-78	78-75	<75	3	
Pureza del jugo mezclado	%	>85	85-83	83-80	<80	3	
Pérdidas totales de sacarosa	%	<2	2-2.5	2.5-3	>3	4	
Total Fábrica de azúcar Índice de Fábrica de azúcar							
Caña molida	Miles t	>334	202-334	72-202	<50	3	
Rendimiento agroindustrial	t/ha	>8	8-7	7-6	<6	3	
Rendimiento de campo	t/ha	>100	100-80	80-70	<70	3	
Fibra en caña	%	<12.5	12.5-14	14-15	>15	3	
Sacarosa en caña	%	>15	15-13	13-11	<11	4	
Total campo cañero Índice de campo cañero							
Total Ingenio Índice de ingenio							
Índice de Campo (Total campo/0.8)	Índice de fábrica (Total fábrica/0.56)	Índice de ingenio (Total campo+fábrica/1.36)		Clasificación final (campo+fábrica+ingenio)			
Alta productividad 100-75 Media Productividad 74-65		Baja productividad 64-55 Muy baja productividad <55		Nivel de clasificación de ingenios azucareros			

¹³ Las **curvas de isoproductividad** se construyen con valores iguales de toneladas de azúcar por hectárea - TAH (eje "z") a partir de diferentes combinaciones de toneladas de caña por hectárea - TCH (eje "y") y rendimiento en azúcar (eje "x"). Permiten realizar un análisis comparativo de la productividad de la caña de azúcar cosechada en una región productora en un período definido por el usuario, según ingenio, zona agroecológica, variedad de caña, edad de cosecha o número de corte (Luna *etal*, 1995)

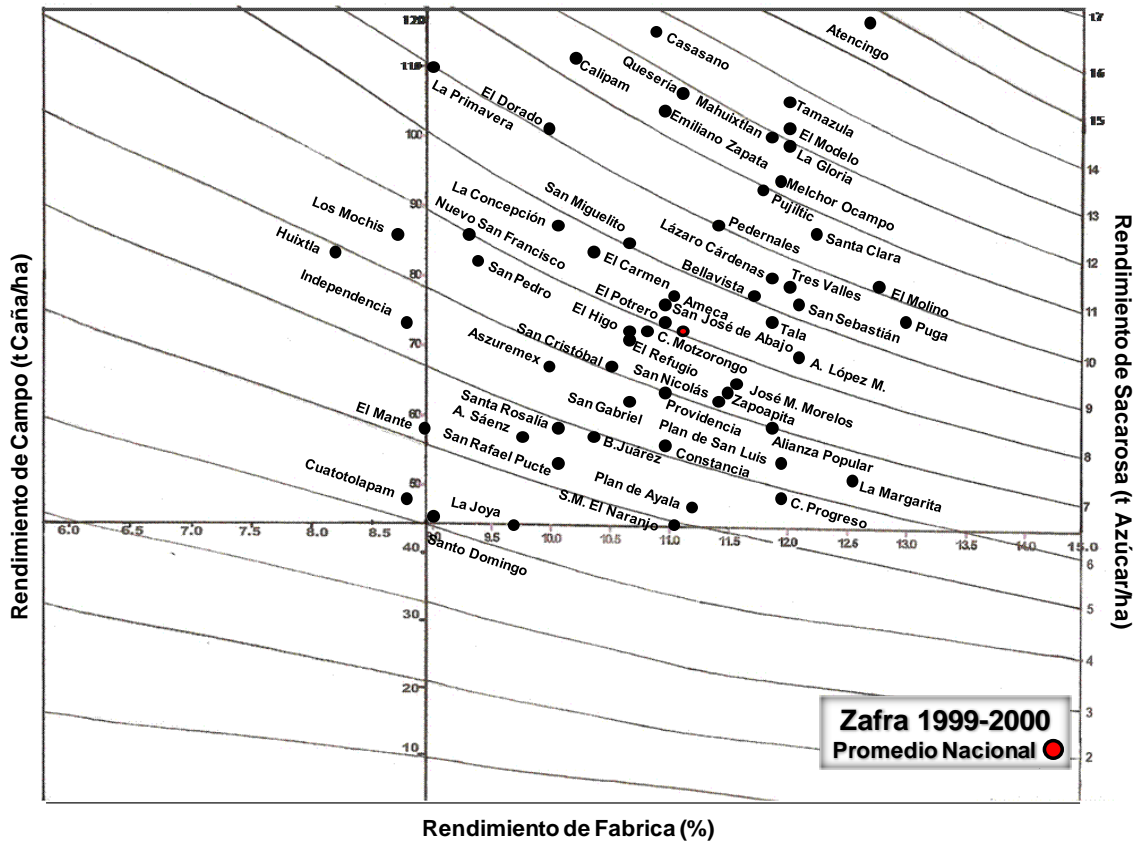


Figura 1.28. Diagrama isoproductivo zafra 1999/2000

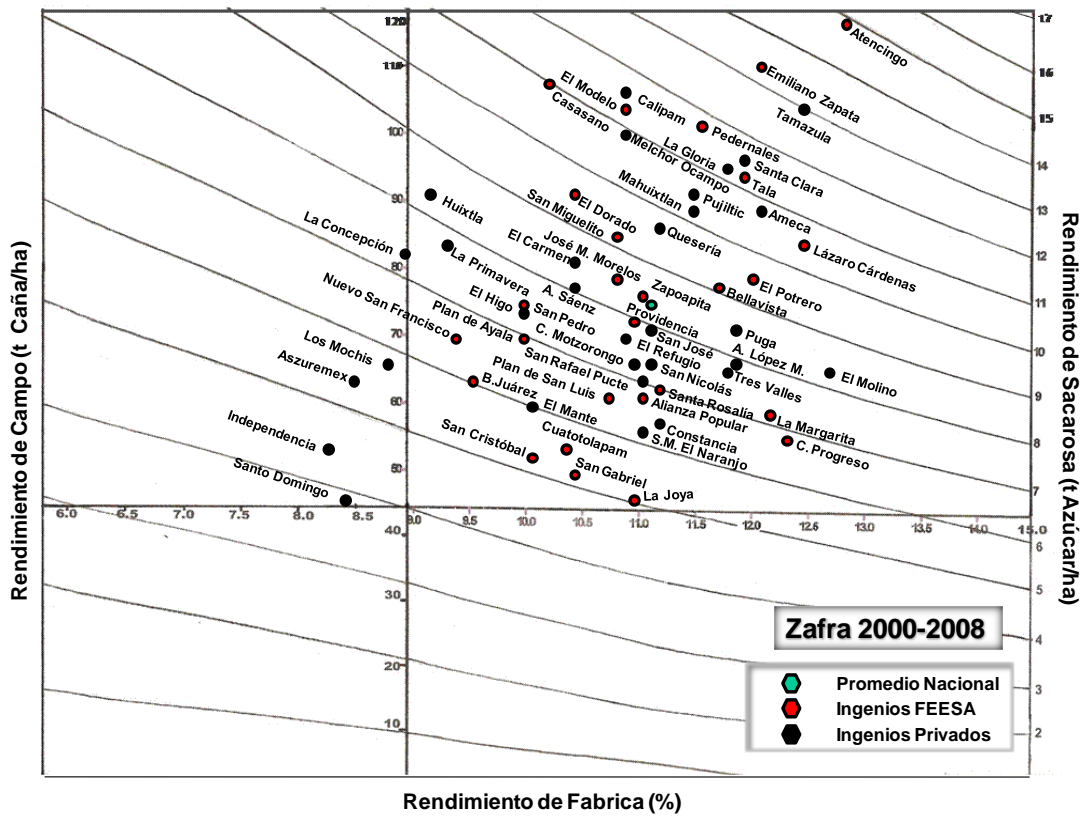


Figura 1.29. Diagrama isoproductivo promedio zafras 2000 al /2008

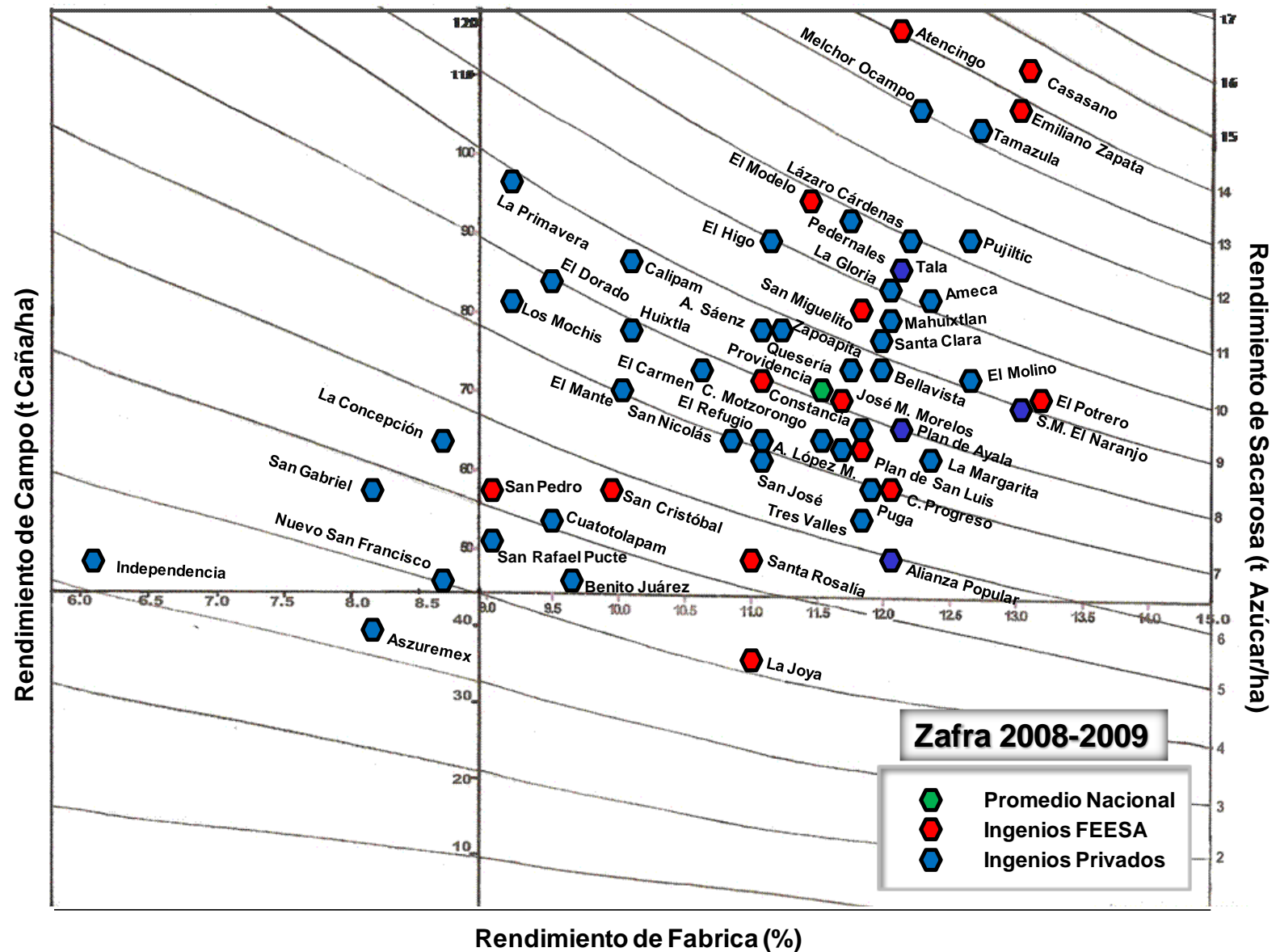


Figura 1.30. Diagrama isoproductivo promedio zafra 2008/2009

Durante el periodo 1999/2000 los ingenios: Atencingo, Casasano, Emiliano Zapata, Melchor Ocampo, Tamazula, Pujiltic, Lázaro Cárdenas, El Modelo, Pedernales, La Gloria, Ameca, Mahuixtlan, Santa Clara, El Molino, El Potrero, La Primavera, Queseria, Calipam, ElDorado, El Carmen, Adolfo López Mateos, San José de Abajo, Puga, Tres Valles, San Sebastián y La Concepción (27 en total) presentaron indicadores de campo y fábrica positivos por encima de la media nacional; sin embargo, solamente los ingenios: Atencingo, Casasano, Emiliano Zapata, Melchor Ocampo, Tamazula, Pujiltic, Lázaro Cárdenas, El Modelo, Pedernales, La Gloria, Ameca, Mahuixtlan, Santa Clara, El Potrero, Queseria, Calipam, ElDorado, El Carmen, Puga, Tala, Bellavista, Huixtla, Jose María Morelos y Zapoapita permanecieron con tendencia positiva (24) y San Sebastián y Santo Domingo cerraron en este periodo.

Para la zafra 2008/2009 se establece una estructura de ingenios en dos grupos de alta y media baja productividad (Cuadro 1.20) de los cuales (29 en total) se localizan en Veracruz (8), Jalisco (5), Michoacán (4), Puebla (2), Morelos (2), Sinaloa (2), San Luis Potosí (2), Nayarit, Chiapas, Colima y Tamaulipas (1) como los estados de mayor productividad promedio, de los cuales Puebla, Morelos, Jalisco, Chiapas y Michoacán presentaron altos rendimientos de campo y fábrica, Colima y San Luis Potosí de fábrica y Sinaloa de campo (Figura 1.7) de la misma forma los ingenios productivos están agrupados en consorcios azucareros: Zucarmex (3), SAGARPA-FEESA (7), Grupo Beta San Miguel (3), Servicios Azucareros del Trópico (1), Grupo Azucarero México (3), Grupo Sáenz (2), Proazucar (1) y Grupo Porres (1) que en su conjunto presentan indicadores positivos (Figuras 31 y 32 y Cuadro 1.21).

Cuadro 1.21. Clasificación de ingenios azucareros por nivel de productividad zafra 2008/2009

Baja a Media Productividad		Media a Alta Productividad	
Alianza Popular	Adolfo López	Santa Clara	Atencingo
Huixtla	El Carmen	El Molino	Casasano
Santa Rosalía	C. Motzorongo	El Potrero	Emiliano Zapata
San Cristóbal	Constancia	La Primavera	Melchor Ocampo
San Pedro	El Refugio	Queseria	Tamazula
Cuatotolapam	Plan de S. Luis	Calipam	Pujiltic
La Concepción	La Margarita	Aarón Sáenz	Lázaro Cárdenas
Benito Juárez	El Mante	Zapoapita	El Modelo
San Rafael	San Nicolás	Providencia	Tala
Pucte	San José de	Bellavista	Pedernales
San Gabriel	Abajo	José María	La Gloria
Nuevo San	Puga	Morelos	Ameca
Fco.	Central	El Naranja	El Higo
La Joya	Progreso	ElDorado	Mahuixtlan
Tenosique	Plan de Ayala	Tres Valles	San Miguelito
Independencia			

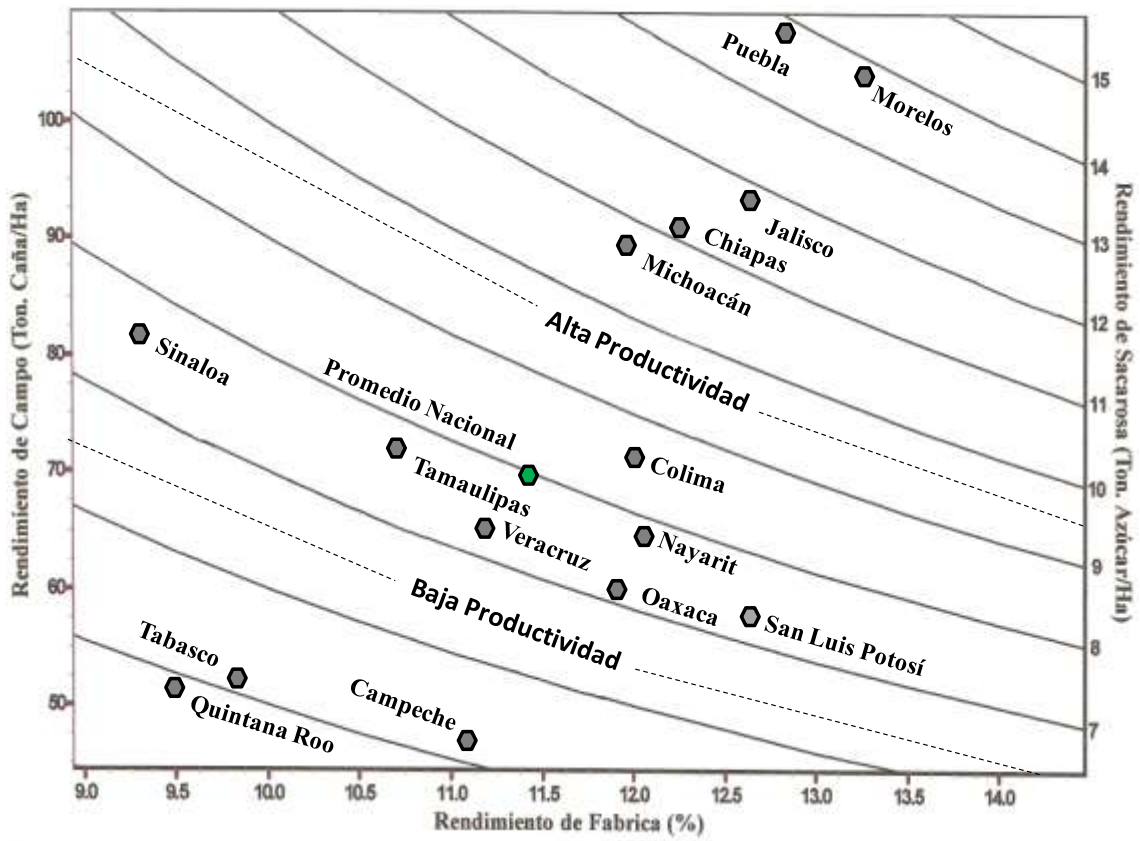


Figura 1.31. Diagrama isoproductivo promedio zafra 2008/2009 estados productores

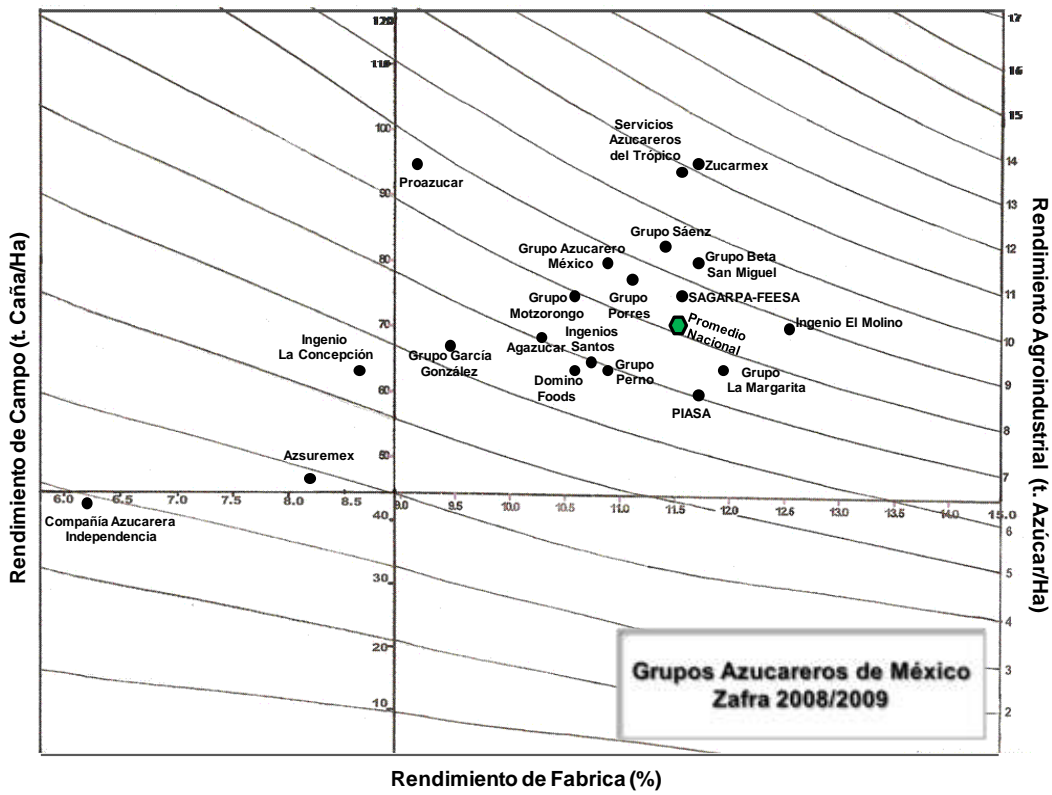


Figura 1.32. Diagrama isoproductivo promedio zafra 2008/2009 de grupos azucareros

La relativa estabilidad de los indicadores de los ingenios de alta productividad durante el periodo analizado sugiere que está determinada por algunos factores de producción. Los cuales al no variar significativamente entre las zafras provocaron cambios de poca importancia en el ordenamiento de los niveles de productividad (Romero, 2005; Hernández Laos, 1986). Caso contrario a los ingenios que disminuyeron su productividad¹⁴. Las características son:

1. Variedades de caña y etapa de desarrollo del cultivo
2. Afectaciones al cultivo
3. Tenencia de la tierra
4. Disponibilidad de agua
5. Fertilización y mecanización del campo
6. Capacitación y crédito agrícola
7. Capacidad instalada de los ingenios y grado de utilización
8. Estructura productiva (estándar, refinado, mascabado, etanol)
9. Antigüedad de los ingenios
10. Costo de materia prima
11. Calidad de la materia prima (contenido de sacarosa y fibra)
12. Duración de la zafra
13. Consumo de petróleo (L/t de Caña de Azúcar)
14. Tiempos perdidos
15. Mecanización de los procesos productivos
16. Tenencia de la tierra, crédito y asistencia técnica
17. Innovaciones.

1.9.2. Subsistema campo

La localización de los ingenios y por lo tanto las zonas de abasto, es otro factor que incide sobre su productividad en fábrica. En este caso, resulta evidente que detrás de la localización se encuentran otros factores específicos, sobre todo, los relacionados con la productividad en campo, que repercuten sobre los niveles de eficiencia de los ingenios en los procesos y operaciones unitarias. No solamente las diferencias regionales en la calidad de la materia prima sino también en la dotación de infraestructura básica, para la recolección y acarreo de la caña a los ingenios, y las diferencias intrarregionales en las condiciones climáticas que afectan la duración de la zafra e implican, en menor o mayor medida, tiempos perdidos que afectan el rendimiento de fábrica.

La producción de caña de azúcar en México se desarrolla bajo diversas condiciones, debido a la amplia distribución geográfica donde prospera este cultivo y a los diversos factores que en él inciden; a pesar de que la mayor

Galindo (2003) determino que algunos indicadores nos dan un panorama de análisis importante, ya que de alguna forma determinan los sectores donde se debe invertir y proyectar no solo en lo económico sino también tecnológico. Esto evita la visión lineal de que solo el sector industrial es el que necesita la modernización, sino que hay regiones del país en donde el sector fábrica esta en óptimas condiciones y el problema se tiene en el sector campo. Esto permitirá establecer otros criterios generales para el evaluar el desempeño de los distintos tipos de ingenios y sus zonas de abasto a la luz de sus características propias

parte de las áreas productivas con mejor aptitud agro ecológica para la caña de azúcar ya se encuentran implantadas con el cultivo en cada región cañera, incluso en cada zona de abastecimientos se deben analizar con detalle cada uno de los factores que determinan la productividad y rentabilidad del cultivo; por lo tanto, la competitividad de la actividad cañera, es el resultado de la interacción de diferentes factores como la superficie cultivada por productor, la clase de tierra y el ciclo de cultivo, la organización de la producción, etc, indicadores que condicionan el rendimiento de campo y por tanto su competitividad (García Chávez, 2000).

Durante el periodo analizado en el campo se incremento la superficie cosechada de caña de azúcar al pasar de 603,453 a 683,008 ha es decir un aumento de 79,555 ha. Los ingenios que mas incrementaron su superficie fueron Tres Valles (19,936 a 30,015 ha), Nuevo San Francisco (5,777 a 13,905 ha), San Cristóbal (37,992 a 41,673 ha), Adolfo López Mateos (de 14,905 a 25,092 ha), La Joya (5,324 a 9,582 ha), Quesería (8,059 a 11,066 ha), Santa Clara (3,876 a 7,465 ha), Benito Juárez (13,411 a 16,200 ha), El Potrero (17,680 a 21,191 ha), Puga (16,428 a 19,733 ha), Emiliano Zapata (8,001 a 10,828 ha), Atencingo (10,364 a 12,895 ha), Providencia (8,003 a 12,564 ha), Huixtla (9,111 a 12,422 ha) y Plan de San Luis (13,731 a 17,017 ha) en los demás los incrementos fueron moderados y en otros como independencia, Bellavista, Pedernales, La Margarita, Santa Rosalía , Aarón Sáenz Garza, La Concepción redujeron su zona de abasto y el resto permaneció en promedio constante. Lo que pone nuevamente de manifiesto que la industria azucarera mexicana permanece gracias al incremento constante de la superficie cañera (Figura 1.21) y no a la productividad creciente del campo al pasar el rendimiento en campo de 70.72 toneladas de caña por hectárea inferior al obtenido en la zafra 1999/2000/ de 73.71 t/ha y ligeramente superior a la media mundial (70 t/ha) en ese año (Figura 1.33)

Durante este periodo, los ingenios que lograron incrementar su productividad en el campo fueron Tala, Lázaro Cárdenas, Emiliano Zapata, Plan de San Luis, José María Morelos, San Miguel del Naranjo, Constancia Central Progreso, Zapoapita, Central Motzorongo, Aarón Sáenz Garza, Plan de Ayala, Pedernales, Cuatotolapam, El Higo y Melchor Ocampo (28 % del total) los demás permanecieron constantes o inclusive disminuyeron su productividad siendo los más importantes Nuevo San Francisco (46 %), Independencia (38 %), Tenosique (32 %), San Pedro (31.5 %), Tres Valles (24.3 %), La Concepción (22 %) y EIDorado (20 %).

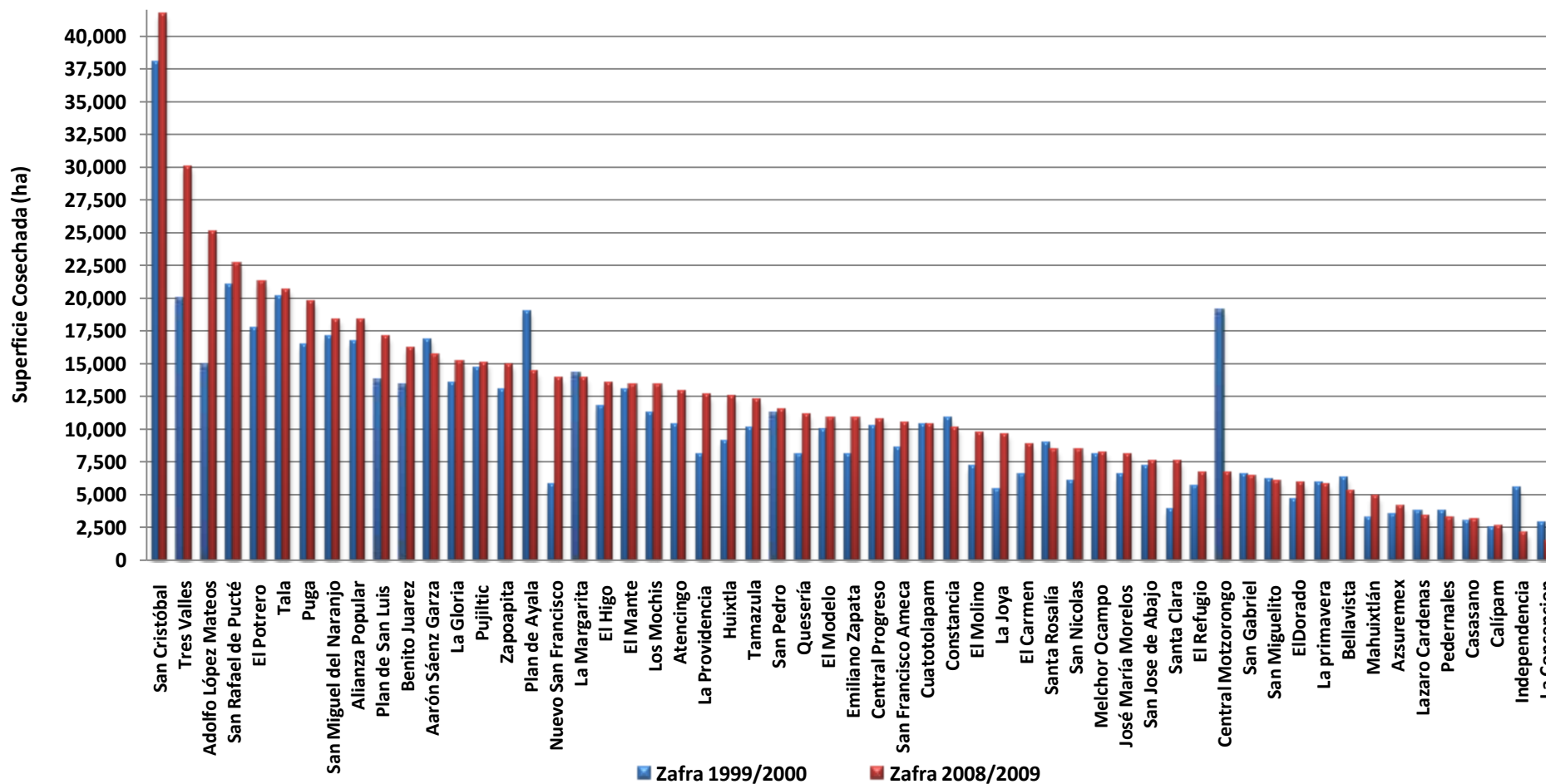


Figura 1.33. Superficie de caña (ha) periodo 2000/2009 (CNIAA, 2010)

En relación a los estados productores, como resultado del promedio de los ingenios localizados en ellos, Colima, Puebla y Tabasco registraron un incremento, moderado; de la misma forma, de los grupos azucareros Sáenz, Beta San Miguel, La Margarita, Santos y Zucarmex incrementaron su productividad. Caso contrario a la mayoría de ingenios, estados productores y grupos que para compensar la caída en productividad de plantas de caña de azúcar menos productivas se deforestan mas áreas para expandir la frontera agrícola cañera e incrementar la cantidad de materia prima a los ingenios en este sentido, el volumen de caña industrializada fue de 46,518,988 toneladas (incremento de 3,227,783 t.) genero una producción de azúcar de 5,520,687 toneladas (597,056 t. más que 1999/2000) debido al volumen de materia prima (Figuras 1.34 a la 1.39).

La importancia de este indicador se debe a que el rendimiento de campo mide la cantidad de caña que se obtiene por hectárea (rendimientos por unidad de superficie en t. caña/ha); y su variación en las diferentes zonas cañeras del país y entre los factores que lo determinan son la disponibilidad de agua, fertilidad del suelo y su textura, variedades cultivadas y estado (planta, soca y resoca), fertilización, perdidas por sequias, plagas y enfermedades, el grado de mecanización, tenencia de la tierra etc¹⁵.

Si las tasa de crecimiento de la superficie, rendimientos y producción se comportan en el corto plazo de forma inferior a los datos históricos, es decir, menor valor de la producción derivado de productividad decreciente (menor azúcar/superficie) a mayor superficie cosechada como en los ingenios: San Rafael de Pucte, Benito Juárez, Alianza Popular, Los Mochis, La Joya, Nuevo San Francisco, Tenosique-Aszuremex y Calipam y los estados productores: San Luis Potosí, Tabasco, Quintana Roo y Campeche. El déficit nacional de azúcar será cubierto en forma masiva con importaciones crecientes, lo que se traducirá en una caída abrupta de la competitividad del azúcar mexicano y la dependencia exterior.

¹⁵ Para 2009 y 2010, La caída de producción promedio nacional respecto a la zafra 2007/2008 fue de 11.24%. Veracruz estuvo en línea con esta baja al caer 11.78 %, (-) 218,782 ton. de azúcar y (-) 2.6 millones de ton. de caña. Por ser el mayor estado productor, estos números absolutos representan alrededor del 40% del total nacional. Pero hubo peores bajas en producción azucarera respecto a hace un año, como las de Oaxaca con (-) 33.46%, San Luis Potosí (-) 27 %, y Michoacán, (-) 24.26%. El mejor desempeño fue el del Estado de Tabasco con un 14.31% de crecimiento en producción de azúcar respecto a la zafra anterior. La producción de Chiapas también resultó positiva al crecer 2.75% también en referencia a la 2007/2008. El promedio de rendimiento en campo fue de 64.12 ton. de caña por ha, el peor desde por lo menos los últimos 11 años. Por debajo de la media nacional quedaron Campeche, Quintana Roo, Tabasco, San Luis Potosí, Oaxaca y Veracruz y los ingenios veracruzanos de San Gabriel, Independencia y La Concepción no lograron arrancar sus respectivas zafras (Zafranet, 2009).

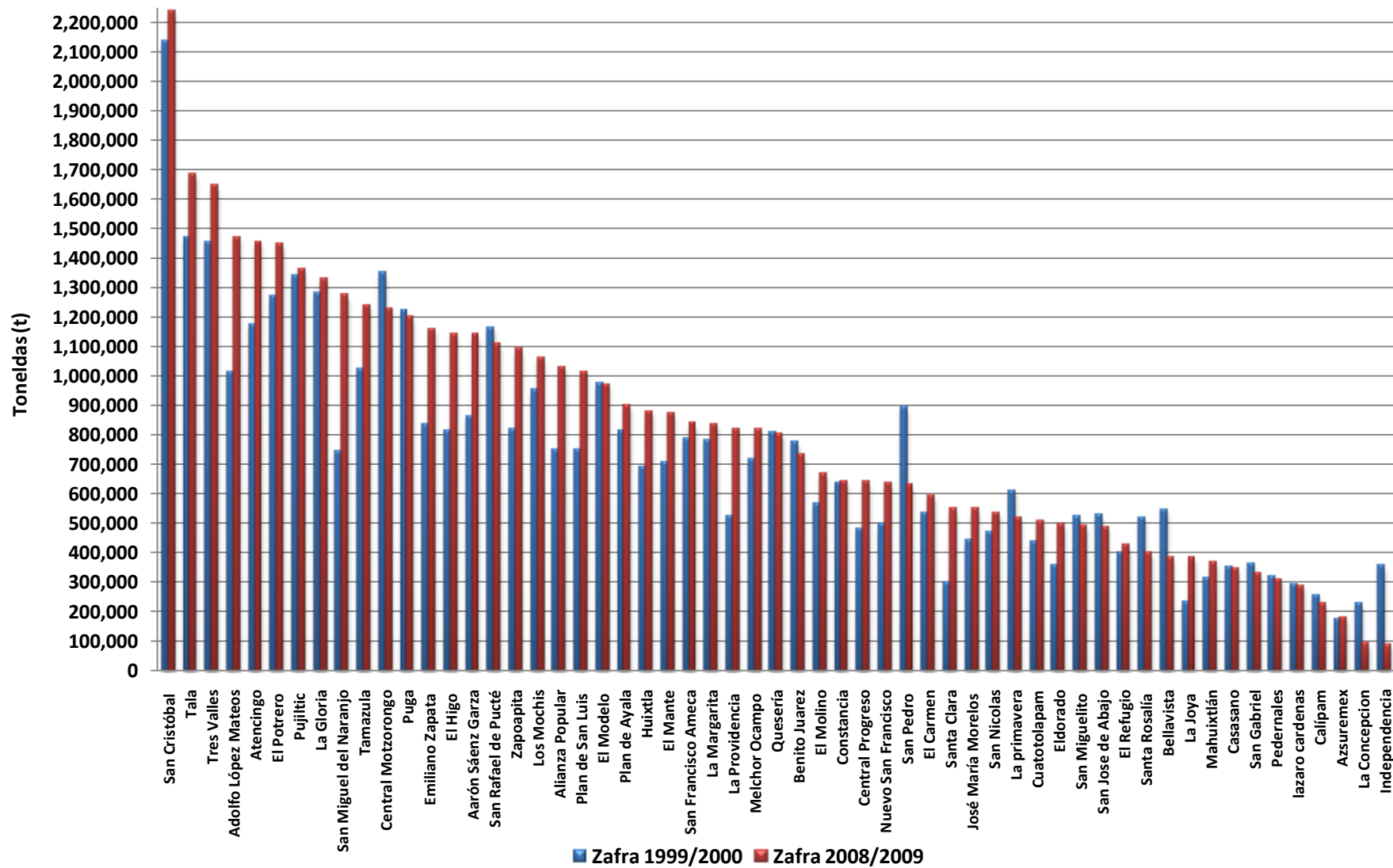


Figura 1.34. Producción de caña de azúcar 2000-2009 (Toneladas)(CNPR, 2011)

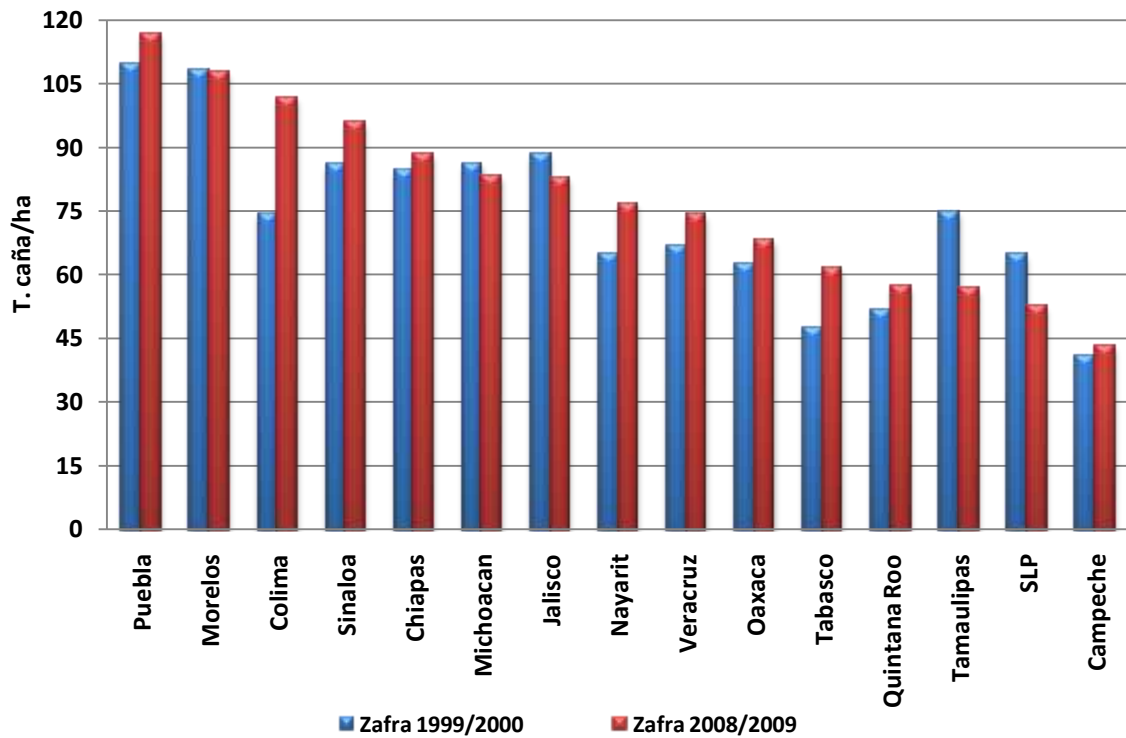


Figura 1.35. Rendimiento de campo de estados productores (CNPR, 2011)

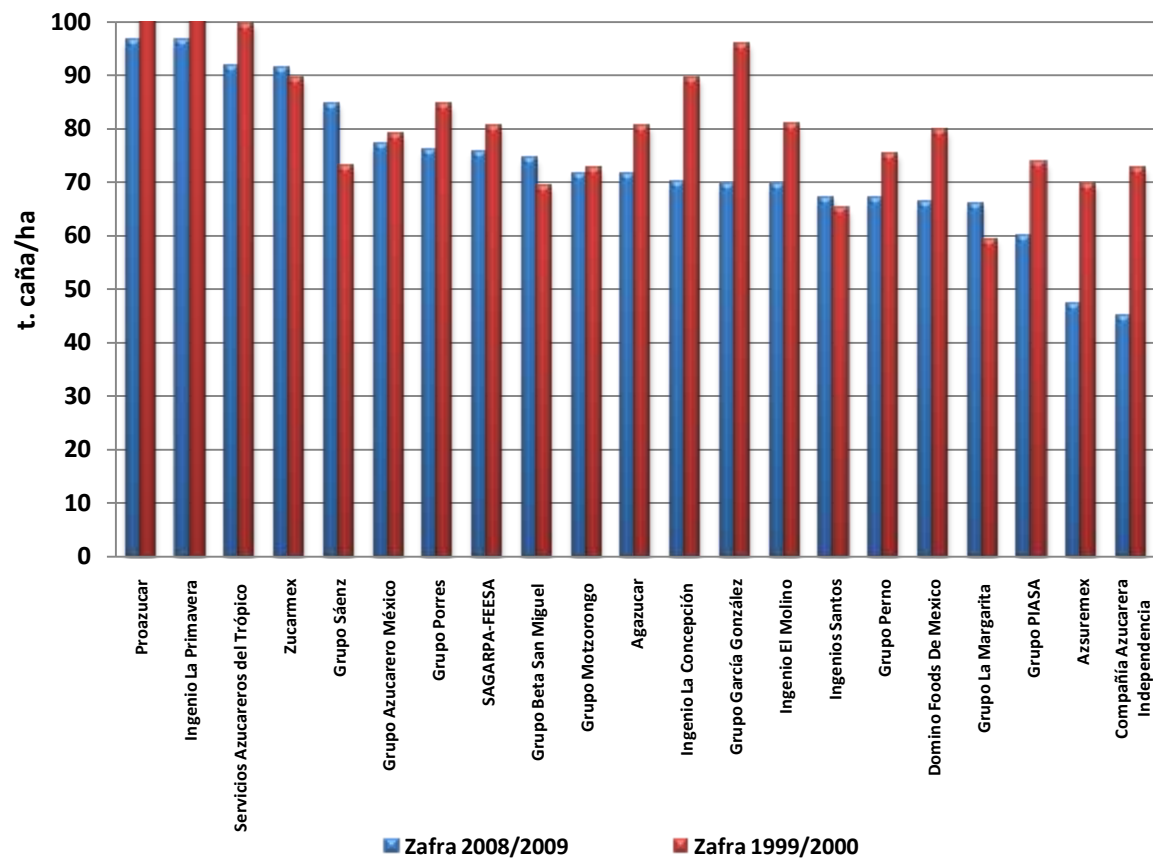


Figura 1.36. Rendimiento de campo de grupos azucareros (CNPR, 2011)

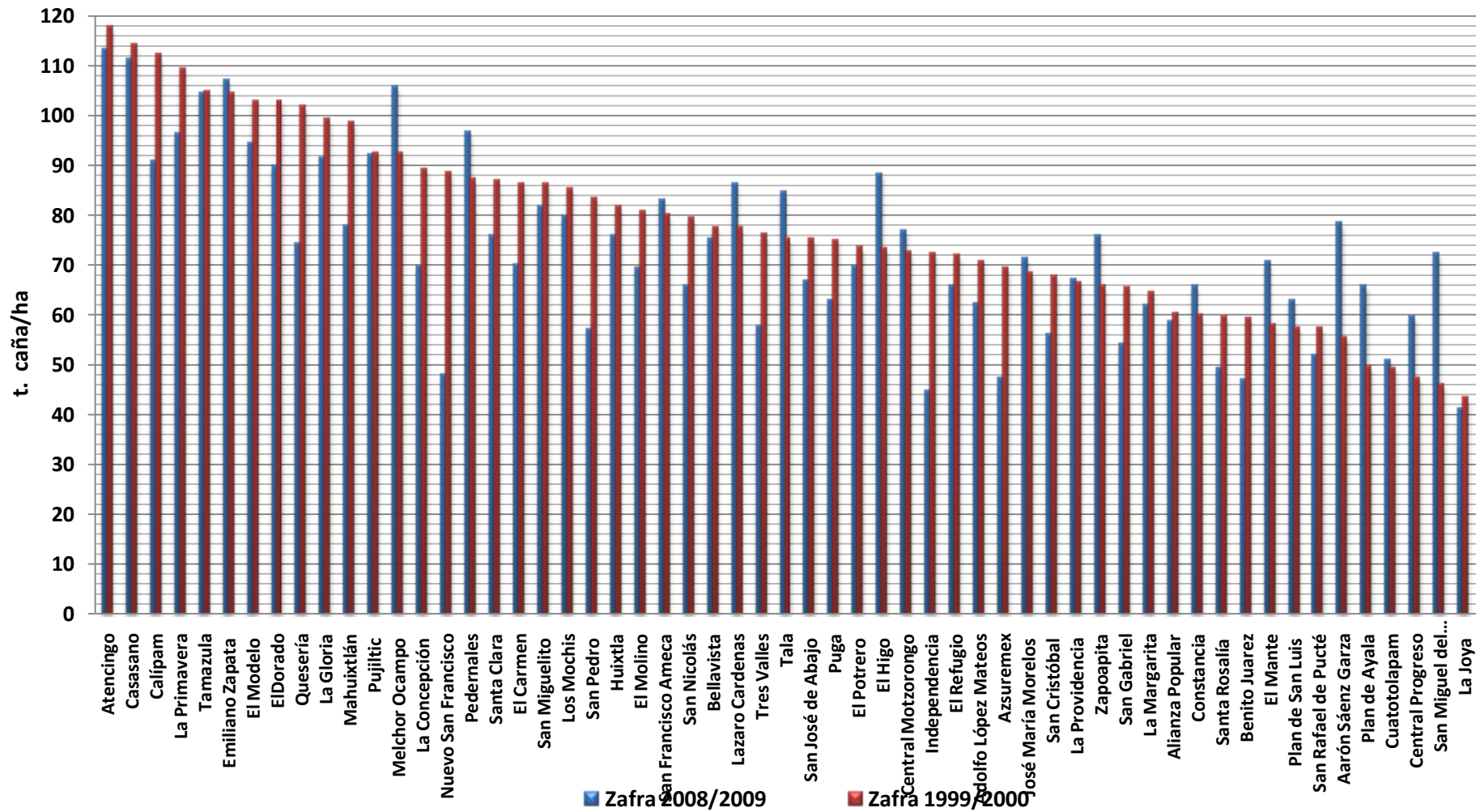


Figura 1.37. Rendimiento de campo de ingenios azucareros (CNPR, 2011)

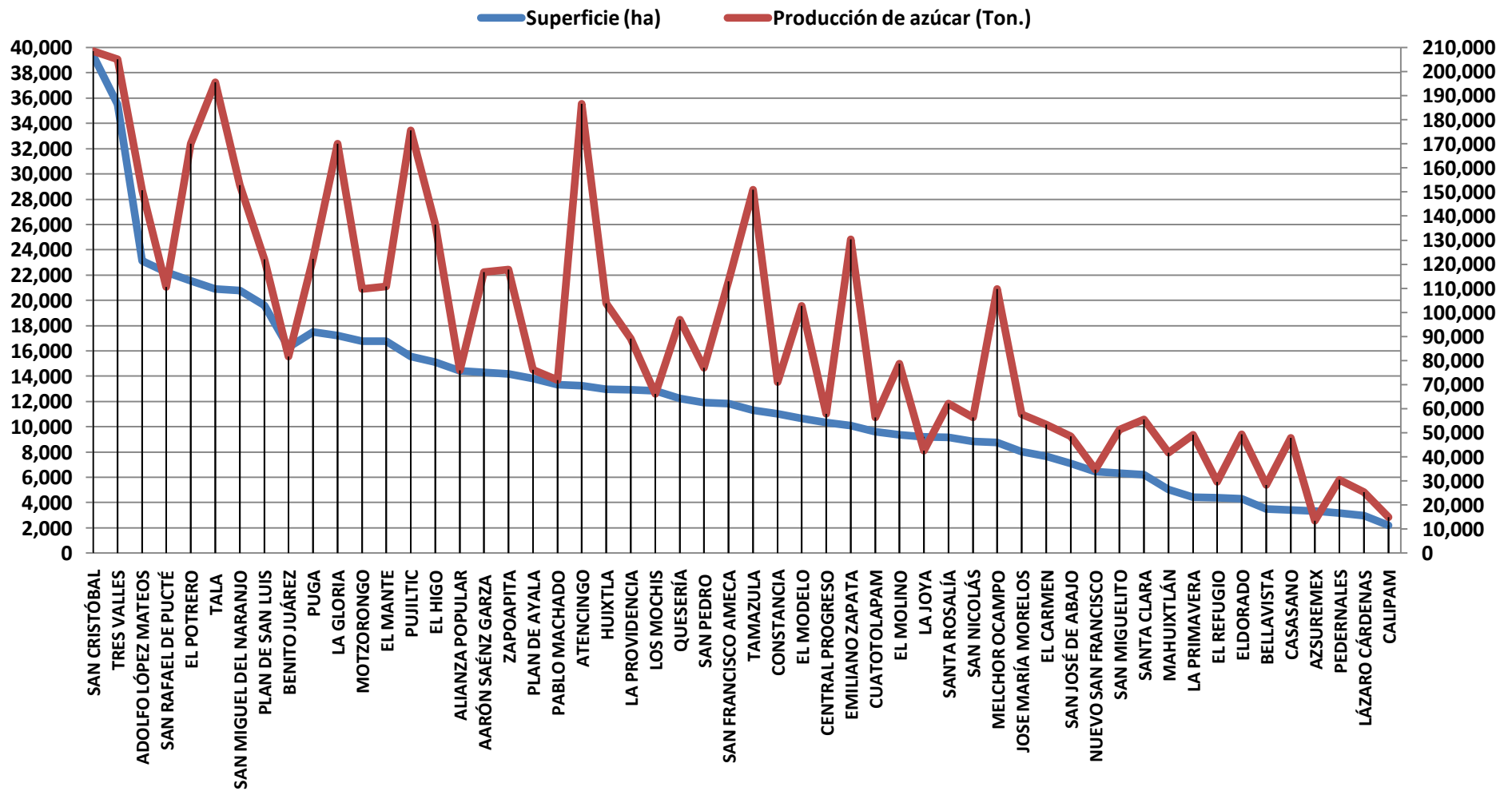


Figura 1.38. Relación superficie cañera y producción de azúcar

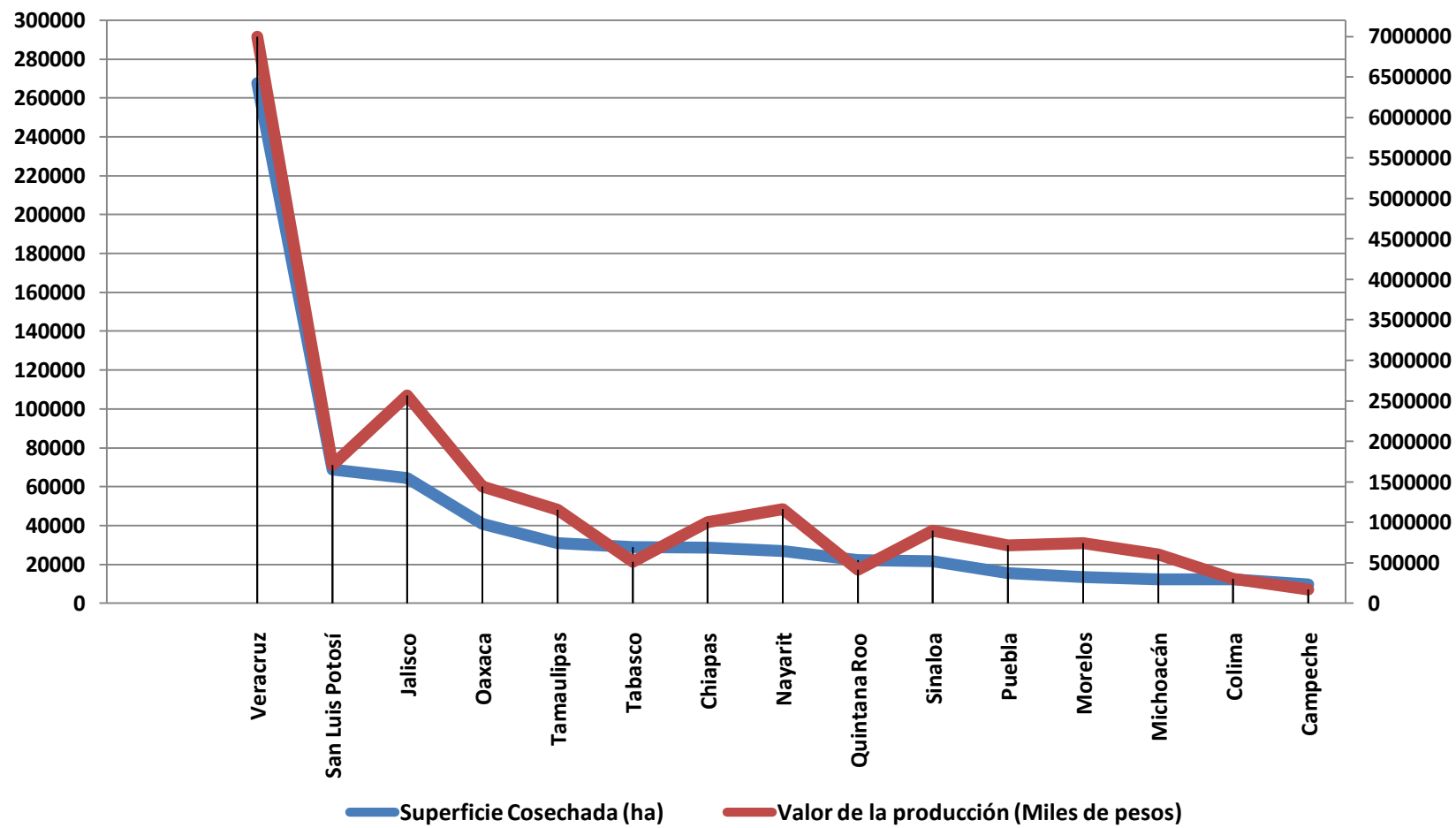


Figura 1.39. Relación superficie/valor de la producción cañera (SIAP, 2009)

1.9.3. Variedades de caña de azúcar

Los heterogéneos rendimientos de campo obtenidos por la zona de abastecimiento de los ingenios están determinados por el manejo inadecuado del cultivo, principalmente el uso de variedades en declive, problemas de suelo y fertilización, entre otros. Comercialmente en el campo cañero existe poca diversidad de variedades de caña de azúcar¹⁶, dentro de las cuales existen tempranas, medianas y tardías, aunque las diversas variedades de caña de azúcar se comportan de manera diferente en distintas condiciones de suelo, clima y manejo agronómico y han sido diseñadas para adaptarse a condiciones específicas y como respuesta a ciertas enfermedades y plagas; el problema en la actualidad es que existen mezclas entre dichos materiales, con una situación de envejecimiento (49 % del total nacional en ciclo resoca, 19.6 % en soca) y propensas a diversas afectaciones como plagas (8 % de la superficie presenta mosca pinta, 4 % con gusano barrenador, 2.2 % de rata cañera y el restante a otras plagas) y enfermedades como el carbón, raquitismo, raya roja etc que afectan la maduración, el contenido de azúcar y la productividad del campo. Y desde 1990 no existe un programa formal de desarrollo de variedades.

En general, en las zonas de abasto de los ingenios predominan 2 variedades Mex 69-290 representa el 24.4 % del total nacional (57 % en los ingenios de Veracruz) y la CP 72-2086 el 22.6 %; (33 % del total de la superficie cosechada) el resto se encuentran en menor proporción en los estados cañeros e ingenios. Manejar porcentajes tan elevados de determinadas variedades es muy riesgoso principalmente en ciclo resoca (Figura 1.40), porque si se llegara a presentar un ataque severo de alguna enfermedad, las pérdidas serían muy elevadas, resultando extremadamente difícil de sustituir la variedad afectada en dos o tres años (Pineda *et al.*, 2002).

En este contexto, durante el periodo analizado; debido a la nula investigación y desarrollo de variedades nacionales de caña los ingenios solamente redujeron el uso de variedades como No-310, L-60-14, MY-55-14, Q96, RD 75-11, POJ2878 y otras para incrementar el uso de la variedades tipo Mex y CP lo que pone de manifiesto un bajo nivel de innovaciones en el campo cañero (Cuadro 1.22).

¹⁶ Las variedades de caña de azúcar nacieron de acuerdo a la iniciativa y los trabajos que se realizaron los holandeses en Java (ahora conocida como Indonesia), quienes fueron los precursores de la Genética Vegetal de la Caña de Azúcar en el mundo como respuesta a la enfermedad "Sereh"; ante esto se efectuaron cruzamientos entre el *Saccharum officinarum* (caña comercial) y el *S. spontaneum* (caña silvestre), que mas tarde produjeron las POJ 2878. En México, la Caña Criolla: Rayada, Morada y Cristalina, que trajo Hernán Cortés y sembró en 1523 en San Andrés Tuxtla, Ver. fueron las primeras que integraron la Industria Azucarera del país, hasta 1928 cuando llegaron las variedades javanasas POJ 36, POJ 2878 y POJ 2714, entre otras (Flores, 1994)

Cuadro 1.21. Renovación varietal en los ingenios mexicanos periodo 2000/2009
(CNIAA, 2000 al 2010)

Ingenio	Estado de las variedades de caña de azúcar (2000-2009)
La Joya	No-310 55 %, Co-997 pasa del 31 al 10.2 % en 2006 y se incorporan otras variedades como CP 74-2005, MEX 79431 y otras
Quesería	Mex 68-P-23 (50 %), Mex 69-290 (27 %) CP 72-2086 (12 %)
Pujilic	En 2001 se incorpora CP72-286 para el 2007 representa el 20 % junto con Mex 57-473 (30 %), Mex 69-290 (21 %) y otras como Mex 68-P-23, SP 70-1284
Huixtla	Mex 69-290 (50 %), CP7-2286 (32 %) CO- 997 (7 %)
Bellavista	CP 72-286 paso de 23 al 27.5 %, Mex 80-1428 de 34 a 19 % y L60-14 del 10 al 15 % y Mex 69-290 del 4.5 al 12 % del 2000 al 2008
José María Morelos	Mex 69-290 pasa de 66 % a 44 % Mex 57-473 de 13 a 0.25 %, y se incorporaron Mex 80-1415 7 %, Mex 79-431 32.91 %.
Melchor Ocampo	Mex 69-290 de 40 a 47.5 %, Mex 68-P-23 de 22 a 12 %, CP 72-2086 19 % , Mex 57-473 de 11 a 7.4 %.
San Francisco Ameca	CP 72-2086 de 46 a 53 %, Mex 57-473 de 20 a 26 %, Mex 80-1410 de 18 a 4.1 %, Mex 69-290 12 %.
Tala	Las variedades Mex 80-1410, Mex 57-473 y L60-14, están siendo remplazadas por CP 72-2086, CP74-2005 y Mex 80-1428.
Tamazula	CP 72-2086 paso del 52 al 86 %, Mex 69-290 de 4.5 a 3.4 %, Mex 57-453 de 17.2 a 0.8 %, Nco-310 que representaba el 14.3 % y L 60-14 6 % dejaron de cultivarse en 2002 y se remplazaron por CP 74-2005 y Mex 68-P-23
Pedernales	Zmex 55-32 de 43 a 51 %, Mex 69-290 35 % a 14 %, L 60-14 de 8 a 4 %, CP 72-2086 de 2.5 a 5 % y se incorporo en 2002 MY 55-14 hasta el 17 %.
Lázaro cárdenas	Mex 69-290 552 % constante, Mex 57-473 de 33 a 18 %, NCo-310 de 8 a 2.5 % y en 2005 la incorporación de CP 72-2086 con 6 %.
Santa Clara	L-60-14 pasa del 45 al 27 %, Nco-310 del 14.2 al 4.6 %, Mex 69-290 del 32 al 21 % y la Mex 79-431 del 0.08 al 27 %.
Casasano	CP 72-2086 de 43 a 39 %, MY 55-14 de 24 a 40 %, Mex 69-290 de 7.3 % a 11 %.
Emiliano Zapata	MY-55-14 paso de 52.7 % a 28 %, Mex 69 290 y Mex 57-473 fueron sustituidas por Mex 79-431 desde 2004
El Molino	L-60-14 pasa del 16 al 12.2 %, Mex 57-473 del 29 al 10 % M903 del 24.3 al 19 %.
Puga	Mex 69-290 pasa del 31.4 al 18.3 %, Mex 57-473 del 24.5 al 15.7 % L60-14 del 14.5 al 3.9 % y otras son sustituidas por Mex 69-749 en un 43 %.
Adolfo López Mateos	Mex 69-290 pasa del 53.54 al 55.5 %, CP 72-2086 del 28.8 al 31 % Co 997 del 14 al 4 % y otras son sustituidas por Mex 79-431 en un 8 %.
El Refugio	Mex 69-290 pasa del 50 al 47 %, CP 72-2086 del 20 al 11 % Co-997 del 20 al 3 %, RD 75-11 de 10 al 20 %
La Margarita	Mex 69-290 pasa del 40 al 43.2 %, CP 72-2086 del 27.1 al 32 % Co 997 del 3.5 al 4 %, SP70-1284 de 12.2 al 4 %
Atencingo	Mex 57-473 pasa del 45 al 41 %, MY 55-14 del 27 al 25 % CP 72-2086 del 11 al 16 %, Mex 69-290 de 5 al 4 %
Calípam	Nco-310 pasa del 55 al 51 %, Mex 68-808 del 14 al 17 % CP 72-2086 del 3 al 6 %, Mex 57-473 de 8 al 17 %
San Rafael de Pucté	Mex 69-290 pasa de 35 al 51 %, CP 72-2086 del 36 al 44 % , SP70-1284 de 6.6 al 0.9 % y en 2006 se introdujeron Mex 73.523, Co 997, Mex 73-206, y otras
Alianza Popular	Mex 69-290 3.4 %, Mex 55-32 del 37 % , SP70-1284 10.23 %
Plan de Ayala	Mex 68-1345 del 29 al 27 % , CP 722086 de 24.1 al 18 %, Co997 del 19 al 11 %, Z Mex 55-32 del 10.4 al 14 %
Plan de San Luis	Mex 73-1240 de 22 a 22 %, Co 997 de 19.7 a 17.4 %, Mex 68P23 de 14 a 7 %, CP 72 2086 de 13c a 15 %.
San Miguel del Naranjo	Mex 68-1345 del 30 al 18 % , CP 722086 de 22 al 33 %, Mex 68P23 del 21 al 6 %, MY 55-14 del 9 al 0.4 % , RB 721002 del 4.6 al 12 % y SP 74-5203 del 1.4 al 4 %.
Eldorado	CP 72-2086 de 55 al 68 %, RD 7511 del 5 al 30 %, Mex 69-290 del 5 al 0.1 %.

Los Mochis	CP 72-2086 de 31 al 82 %, Nco-310 del 47 al 4 %, Mex 69-290 del 6 al 3 %.
La primavera	CP 72-2086 de 0.5 al 72 %, Mex 69-290 del 14.5 al 9.6 %, Mex 68-P23 del 18 al 1.6 %, Nco-310 del 49 al 0.1 %.
Azuremex	Mex 68-P-23 51.22 %, Mex 57-473 24 %, SP-1284 19 %
Santa Rosalía	CP 72-2086 de 0.2 al 21 %, Mex 69-290 del 17.3 al 20.5 %, Mex 68-P-23 del 41 al 15 %, Co-997 del 26 al 2.5 % y SP 70-1284 del 4 al 1.6 %.
Benito Juárez	CP 72-2086 de 0.56 al 26 %, Mex 69-290 del 55.6 al 28 %, Mex 68P23 del 33.5 al 31 % y SP 70-1284 del 4.8 al 10 %.
Aarón Sáenz Garza	CP 72-2086 de 21 al 75.4 %, Mex 68P23 del 4.1 al 0.4 %, Nco-310 del 69.3 al 21 %.
El Mante	CP 72-2086 del 45 al 82 % y Nco-310 del 53 al 14 %.
Independencia	RD-7511 35 %, Mex 69-290 7.22 %, Mex 58-1230 del 26 al 22 %, Mex 68P23 del 22 al 17 %, Q96 del 5.22 al 3.3 % y POJ 2878 del 1.1 al 1.3 %.
Cuatotolapam	Co-997 de 53 a 18 %, Mex 68P23 de 25 a 23 %, SP 70-1284 de 17 a 18 %.
El Modelo	Q96 de 23 a 8 %, Co-997 de 12 a 2 %, CP 72-2086 de 1 a 21 %, Mex 68P23 de 15 a 7 %, Mex 69-290 de 28 a 40 % y Mex 79-431 de 8 a 7.7 %.
El Potrero	CP 72-2086 de 28.2 al 25.2 %, Mex 69-290 del 25 al 36 %, Mex 68-P-23 del 5 al 4.8 %.
La Providencia	Mex 69-290 44 %, Mex 68-P-23 21 %, Co-997 5.3 %, CP 72-2086 8.4 % y Mex 79-431 7 %.
San Cristóbal	CP 72-2086 de 21 al 25 %, Mex 69-290 del 31 al 28 %, Mex 68-P-23 del 29 al 15 %, Co-997 8 al 6 %.
San Gabriel	CP 72-2086 de 20 al 17 %, Mex 69-290 del 26 al 39 %, Mex 68-P-23 del 36 al 4 %
San Miguelito	CP 72-2086 de 2.5 al 3 %, Mex 69-290 del 46 al 58 %, Mex 79-431 del 29 al 26 %, Mex 56-476 del 15 al 8 %.
San Pedro	CP 72-2086 de 24 al 19 %, Mex 69-290 del 12 al 14 %, Mex 58-821 del 11 al 3 %, Q-96 20 a 11 %, Q-68 de 20 a 3 %, Mex 68P-23 de 4 a 2 %.
Zapoapita	CP 72-2086 de 49 al 51 %, Mex 69-290 del 14.1 al 19.3 %, CP 70-1527 del 14.2 al 13.2 %, Mex 68P-23 de 8 %.
Central Motzorongo	CP 72-2086 14 %, Mex 69-290 del 50 al 47 %, CP 70-1527 del 3 al 7 %, Mex 68-P-23 8 %.
Central Progreso	CP 72-2086 de 8 a 9.4 %, Mex 69-290 del 34 al 35 %, CP 44-101 del 37 al 35 %, Mex 68P-23 3.7 al 3 %.
Constancia	CP 72-2086 de 14 a 22 %, Mex 69-290 del 43 al 54 %, Mex 68P-23 27 al 4.3 %.
El Carmen	CP 72-2086 de 8.8 a 18.3 %, Mex 69-290 del 45.5 al 54 %, Mex 56-476 del 9.5 al 6.4 % y Mex 64-1487 del 5 al 6.5 %.
El Higo	CP 72-2086 de 29 al 34 %, Mex 69-290 del 13 al 6.7 %, Mex 79-431 del 4 al 26.4 %, Mex 76-1239 del 14 al 4.3 %, y Q-68 del 7 al 3 %.
La Concepción	CP 72-2086 de 26 al 25 %, Mex 69-290 del 30 al 23.8 %, Mex 79-431 del 8.4 al 9 %, Mex 68P-23 del 19.7 al 32 %, y CP 29-203 del 3 al 2.4 %.
La Gloria	CP 72-2086 de 3.5 al 28 %, Mex 69-290 53 %, Mex 68-P-23 del 14 al 3 %, Q-96 del 11 al 3.5 % y Co997 del 7 al 1 %.
Mahuixtlán	CP 72-2086 de 46 al 53 %, Mex 69-290 de 40 a 33 %, Mex 68-P-23 3.4 %
Nuevo San Francisco	CP 72-2086 de 27 al 26 %, SP 70-1284 de 6 a 3 %, Q96 de 15.3 a 7 %, RD 75-11 de 5 a 11 %
San José de Abajo	CP 72-2086 de 6 al 12 %, Mex 69-290 del 60 al 49 %, Mex 68P-23 de 21 a 12 % y Mex 79-431 de 5 a 12 %.
San Nicolás	CP 72-2086 de 9.2 al 8.4 %, Mex 69-290 del 56 al 65 %, Mex 68P-23 de 10 a 2.3 % y Mex 79-431 de 5.9 a 12.1 %.
Tres Valles	CP 72-2086 de 23.4 al 22.3 %, Mex 69-290 del 53 al 51 %, ITV 92-1424 9 %, ITV 92-373 9 %, ITV 92-465 0.6 %

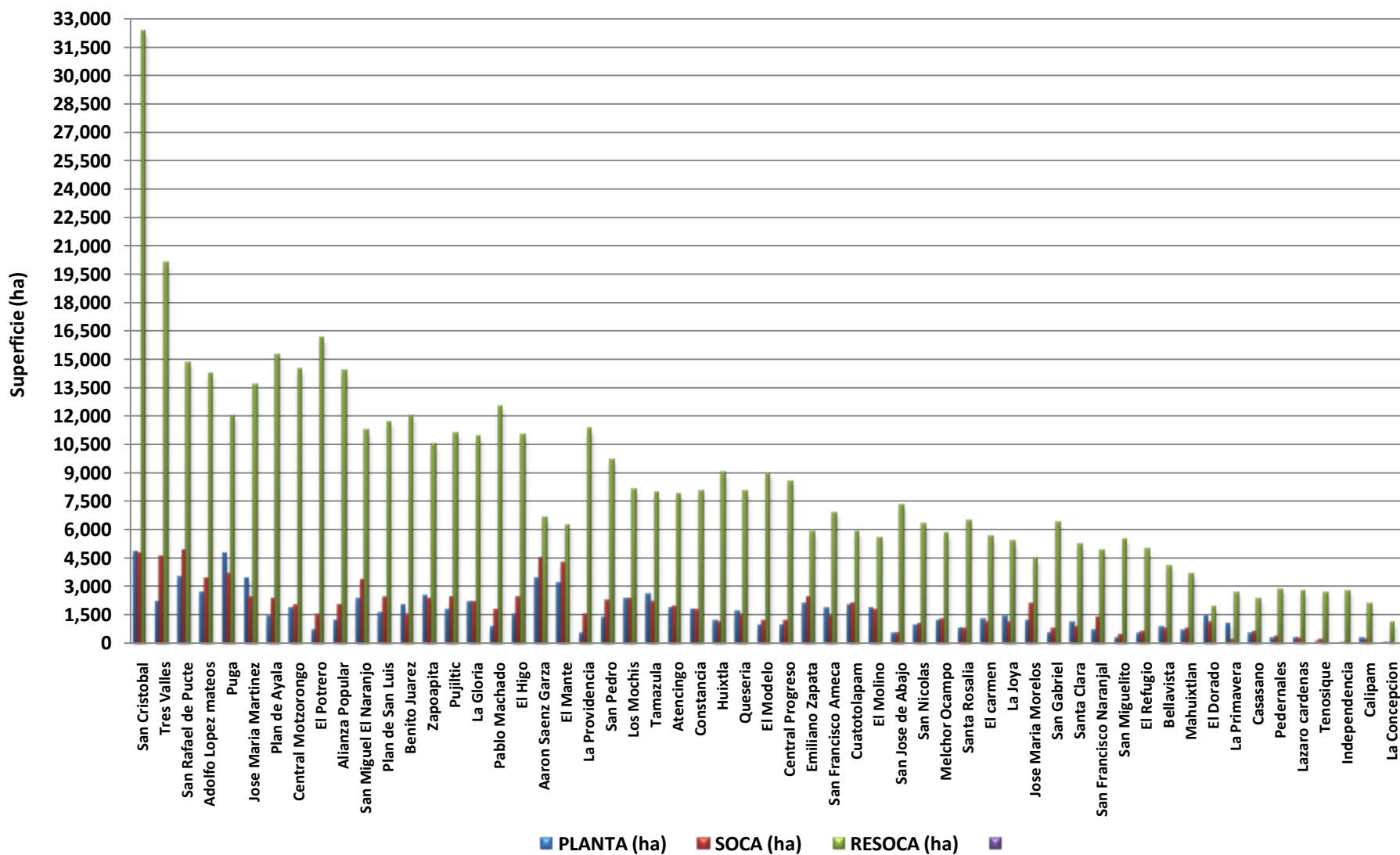


Figura 1.40. Ciclo Productivo de las variedades de caña de azúcar en los ingenios azucareros zafra 2009/2010 (CNIAA, 2010)

1.9.4. Fertilización

La caña de azúcar es una planta que se adapta a una gran diversidad de suelos y de condiciones edáficas en general; prospera en suelos de textura franca hasta la arcillosa, de profundidad alta a baja, de buena a mala fertilidad, de pH ácidos hasta alcalinos, de topografía plana hasta quebrada, etc. La planta posee altos requerimientos nutricionales en consideración a su elevada capacidad de extracción, y remoción de nutrientes del suelo y a su alta producción de materia verde y seca¹⁷. Este cultivo rápidamente agota los suelos, siendo necesario un programa adecuado de fertilización, que restituya al suelo lo extraído por la planta, y lo que haya perdido a través de la materia prima cosechada y procesada en el ingenio (James, 2004)

La zona de influencia de los ingenios mexicanos está conformada por diversos tipos de suelos, de los cuales feozem, cambisol, acrisoles, vertisol, regosoles y luvisol representan la mayoría del total del área cañera. En estas zonas, los ingenios: Azsuremex-Tenosique, Bellavista, Calipam, El Higo, El Refugio, El Dorado, Huixtla, Independencia, La Gloria, Los Mochis, Mahuixtlán, Tala (José María Martínez), San Gabriel y Tres Valles tienen importantes problemas de materia orgánica, por otra parte, Constanza, El Molino, Puga y Tala presentan problemas en la acidez intercambiable, sin embargo de acuerdo a COLPOS (2009), en el área de abasto de la mayoría de los Ingenios todavía se encuentran suelos con suficiente cantidad de materia orgánica, lo cual hace propicio una serie de condiciones físicas de los terrenos para la producción de la caña, pero si no se tiene el cuidado de preservarla a través de prácticas apropiadas de manejo (aportes de los residuos de cosecha, compostas de los materiales de desecho de la agroindustria, entre otros), dicha condición se perderá paulatinamente causando problemas de compactación, aireación y disminución de la productividad. Aunque hay terrenos susceptibles a problemas con posible inundación prolongada (Atencingo, Aarón Sáenz Garza, Tenosique, Constanza y La Primavera) la severidad de su efecto sobre la producción de la caña de azúcar dependerá de la

¹⁷ De los numerosos nutrientes necesarios para un crecimiento y desarrollo adecuado de la caña de azúcar, se ha demostrado que el más importante en cuanto a respuesta del cultivo son Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), la deficiencia de ellos produce una sensible disminución del rendimiento.

El nitrógeno es el constituyente que forma parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila etc. Su deficiencia produce clorosis, cepas de poco vigor y bajos rendimientos

El fósforo es un nutrimento esencial. Su efecto sobre la caña de azúcar se refleja en la brotación, ahijamiento, el desarrollo radical y la elongación del tallo, fundamentalmente.

El potasio participa en diversos procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas entre los que se destacan la síntesis y translocación de carbohidratos, la regulación del régimen hídrico de la planta y la síntesis de clorofila.

La materia orgánica contribuye a mantener la estabilidad estructural del suelo, proporcionando propiedades físicas e hidrofísicas que resultan favorables para el intercambio gaseoso y el régimen hídrico. Además, durante su mineralización, libera nutrimentos que son asimilados por la caña de azúcar. Unido a esto, desempeña un rol importante en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos (Zerega, 1998).

frecuencia e intensidad de la precipitación en las partes planas, aunado a condiciones de mal drenaje natural.

En relación a la fertilidad de los suelos, los valores de nitrógeno disponible indican que para el nivel de rendimiento de la caña de azúcar en todas las regiones a excepción de Nuevo San Francisco y El Carmen, se requiere aplicar fertilizante nitrogenado para mantener o incluso incrementar la productividad del sistema de producción debido a que las principales pérdidas de nitrógeno del suelo están relacionadas con la cantidad de este nutriente contenida en los productos cosechados, la volatilización del nitrógeno orgánico ocasionada por la quema durante la zafra y por la desnitrificación (Lozano, 2007).

En relación al fósforo (P) solamente los ingenios: Aarón Sáenz Garza, Adolfo López Mateos, Alianza Popular, El Mante, La Concepción, La Joya, Pablo Machado, Pedernales, Plan de Ayala, Plan de San Luis, Pujilic, San Cristóbal y Zapopita presentan niveles bajos de este elemento, de ahí la importancia de llevar a cabo análisis de suelo en las demás zonas de abasto para no extralimitarse en las aplicaciones de fertilizante.

Para el potasio (K) solamente las zonas de Adolfo López Mateos, El Potrero, El Refugio e independencia presentan bajos niveles, sin embargo en las demás zonas se abatirá a través del tiempo si no se toma la precaución de reponerla mediante la adición de materiales fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos. Por lo tanto en las zonas cañeras se tiene baja capacidad de reposición, en este sentido el 13.7 % de la superficie sembrada (106,943 ha) recibe algún tipo de fertilización (SIAP, 2009).

1.9.5. Tenencia de la tierra

Los productores cañeros se distinguen por estar agrupados por tipo de tenencia de la tierra (Cuadro 1.22) en ejidatarios que se encuentran afiliados a la Unión Nacional de Productores de Caña de Azúcar de la Confederación Nacional Campesina A.C. (CNC) y pequeños propietarios afiliados a la Asociación Nacional de Cañeros de la Confederación Nacional de Propietarios Rurales A.C. (CNPR) y productores libres.

A pesar del minifundio (36% de la superficie y el 69 % productores tiene menos de 4 ha), la fragmentación de tierras y la baja rentabilidad en las economías de escala, el campo cañero es una estrategia de sobrevivencia para gran cantidad de agricultores. Para muchos de ellos la tierra representa identidad, cultura, ingreso y seguridad, ya que el hecho de tener un contrato firmado con el ingenio significa el soporte económico, capacitación técnica, información y financiamiento y a pesar de las continuas crisis de la agroindustria siguen cultivando la caña por el hecho de estar protegidos tanto el productor como su familia en el IMSS, el tener una jubilación para los cañeros ancianos que solamente se consigue al cultivar caña, un precio fijo y seguro por el producto final en cada zafra que no se consigue con otros cultivos más susceptibles a plagas, mal clima y compradores monopólicos, la producción de caña es fácil, y finalmente la tradición de cultivar caña y el pertenecer a una organización cañera conserva el

derecho de estatus y el apoyo político, algo que los productores libres y otros cultivos no tienen (Cuadro 1.23).

Cuadro 1.23. Tenencia de la tierra por tipo de asociación cañera (COOAZUCAR, 2007)

Rangos de superficie	C.N.C.		C. N. P. R.		LIBRES		TOTAL	
	Cañeros	Superficie	Cañeros	Superficie	Cañeros	Superficie	Cañeros	Superficie
Hasta 0-50 Ha.	3,495	1,483	2,017	872	324	115	5,836	2,470
Más de 0.50 a 1 Ha.	15,731	14,929	9,397	8,903	1,111	1,070	26,239	24,901
Más de 1 a 2 Ha.	22,661	39,348	13,068	22,598	1,574	2,723	37,303	64,668
Más de 2 a 3 Ha.	14,920	40,626	9,565	26,572	829	2,208	25,314	69,406
Más de 3 a 4 Ha.	11,345	41,889	7,798	29,136	823	3,050	19,966	74,075
Más de 4 a 5 Ha.	4,480	18,433	3,237	13,694	1,521	6,040	9,238	38,167
Más de 5 a 6 Ha.	8,162	43,240	6,213	33,192	580	3,249	14,955	79,681
Más de 6 a 7 Ha.	1,646	10,901	1,112	7,446	211	1,418	2,969	19,765
Más de 7 a 8 Ha.	4,127	28,893	3,033	21,690	377	2,499	7,537	53,082
Más de 8 a 9 Ha.	942	8,131	597	5,185	187	1,615	1,726	14,930
Más de 9 a 10 Ha.	2,599	22,256	2,235	19,723	440	3,799	5,274	45,777
Más de 10 a 11 Ha.	477	4,967	315	3,356	100	1,053	892	9,376
Más de 11 a 12 Ha.	1,056	10,493	887	9,547	106	969	2,049	21,009
Más de 12 a 13 Ha.	217	2,711	199	2,516	20	255	436	5,482
Más de 13 a 14 Ha.	157	2,153	156	2,103	25	343	338	4,600
Más de 14 a 15 Ha.	723	9,166	724	9,964	84	1,080	1,531	20,210
Más de 15 Ha.	1,285	32,008	2,025	66,727	207	8,752	3,517	107,487
Total Nacional	94,023	331,627	62,578	283,222	8,519	40,239	165,120	655,087
Promedio Nacional (ha/cañero)	3.53		4.53		4.72		3.97	

Sin embargo, dado que la caña sigue cultivándose más allá de la edad límite ideal (6 ciclos) y la proporción de fibra y sacarosa no ha variado esto puede sugerir que no hay bases reales en la productividad y competitividad que permitiera esperar una mejoría en el ingreso de los cañeros en una estructura de monocultivo, por lo tanto, Singelmann y Otero, (2003) concluyeron que el minifundio posiblemente actúa como freno de la agroindustria azucarera al tener separados los dos factores más importantes de la producción agrícola la tierra y el capital ¹⁸.

Condiciones similares se han gestando desde el cierre de ingenios desde finales de 1980 y han incrementado el arrendamiento, venta de tierras y la migración y han sido documentados por Bartra (2003) y Calva (1993) quienes consideran que a pesar de la debilidad derivada del tamaño pequeño de las explotaciones y lograr economías de escala, el ejido podría ser viable mediante la organización comunal basado en la

¹⁸ De acuerdo a Calva (2003), la historia económica de las naciones que cuentan con sectores agrícolas exitosos tiene dos grandes momentos en la interrelación del desarrollo agrícola y el desarrollo económico general: en una primera fase, el sector agropecuario contribuye al financiamiento del desarrollo industrial y a la acumulación del sector urbano; y en una segunda, las actividades no agrícolas devuelven al campo los servicios que prestó al desarrollo económico general, efectuando transferencias netas de recursos a favor de la acumulación de capital agrícola, de su tecnificación y mejora competitiva. Visto así, sucede que en México se ha cumplido puntualmente la primera gran fase de la interrelación de la agricultura y las actividades no agrícolas, pero no se ha dado ningún paso hacia la segunda fase.

aceleración del cambio tecnológico. Sin embargo, la nueva tecnología cañera es más adecuada para las parcelas grandes, y la economía de las pequeñas unidades significa que tecnologías como arados de bueyes tengan ventaja frente a los tractores (En el campo cañero existen 11.7 tractores, 9.7 camiones, 1.3 alzadoras. Y 0.34 cosechadoras por cada 1000 ha cosechada de caña de azúcar)

Para Pérez (2007) la crisis del minifundio y el ejido cañero no comenzó con la liberalización económica de 1990, sino mucho antes, esto implica que el ejido como institución tiene una debilidad intrínseca que lo incapacita para desempeñarse adecuadamente en términos de producción y bienestar social al tener obstáculos estructurales, debido a que el tamaño reducido de las parcelas por sí mismo no explica los problemas de inversión, productividad, rentabilidad y competitividad. Por lo tanto, es la política, en el denominado "voto verde" y no una razón económica social la causa de que el ejido cañero siga existiendo como mecanismo de control político para lograr la estabilidad, es decir, el minifundio cañero existe porque las restricciones institucionales definen una serie de recompensas a actividades político-económicas que no fomentan la actividad productiva y los ejidatarios con mentalidad más emprendedora no reciben incentivos para cambiar las condiciones, mecanizar o incorporar innovaciones. Los ingenios que menor minifundio presentan son: El Mante (3.05 %), San Rafael de Pucté (4.3 %) y La Primavera (5.3 %); en el extremo los ingenios que más alto nivel de minifundio presentan (por debajo de la media nacional) son Pedernales (98 %), La Concepción (96 %), Casasano (94 %), Lázaro Cárdenas (91 %), San Miguelito (88 %), Nuevo San Francisco (86 %), y Atencingo (82 %) del total de su superficie de cosecha.

1.10. Subsistema Fábrica

Las Unidades Industriales que procesan e industrializan la caña industrial (la caña que llega a la fábrica se denomina "caña industrial" y es una mezcla de cañas de diferentes variedades, cepas, edades y nivel de madurez) se denominan ingenios azucareros, en estas factorías la extracción de sacarosa de la materia prima se lleva cabo mediante procesos y operaciones unitarias. El rendimiento en fábrica expresa la cantidad e sacarosa extraída por tonelada de caña procesada, depende del contenido de sacarosas en caña y el nivel de aprovechamiento que de ella se hace en el proceso fabril.

A nivel de ingenios mexicanos pueden detectarse importantes asimetrías en las eficiencias alcanzadas por las fábricas azucareras y tecnología¹⁹ que se traducen en disímiles capacidades de recuperación de azúcar; debido a que el desempeño productivo de los ingenios está influido por algunas de las características más estables de los mismos, como la magnitud de la escala de sus operaciones, la antigüedad o modernidad (grado de obsolescencia) de sus equipos o instalaciones, y/o las características de los campos cañeros que influyen en la materia prima.

La capacidad instalada y utilizada de los ingenios, es la capacidad de la maquinaria instalada para procesar la caña, medida en toneladas, por hora y por día, en promedio. En las zafras analizadas, de los 57 ingenios 20 (35 %) incrementaron su capacidad instalada. Para el final del periodo 23 ingenios presentan una capacidad de molienda de caña por día de 2,000 a 5,000 (40.35 % del total de ingenios), 28 entre 5,000 y 10,000 (49.12 %), 4 entre 10,000 y 15,000 (7 %) y 2 con capacidad instalada mayor a 15,000 (3.5 %), es decir el 90 % de los ingenios azucareros tiene capacidad de molienda de reducida a media.

Por otra parte, el grado de utilización de la capacidad instalada se refiere a la relación entre el número de toneladas de caña molida en promedio, por día de zafra, respecto de la capacidad de molienda del ingenio cada 24 horas. La variación en el uso de la capacidad instalada de los ingenios está en función prioritaria del grado de antigüedad de las fábricas y del abastecimiento de materia prima que pueda conseguir. Por este motivo, futuros incrementos en el uso de la capacidad instalada dependerán de que aumente la producción de caña en el país, ya sea mediante mayores rendimientos en el campo o a través de una mayor superficie cultivada.

De los 57 ingenios 47 (83 %) incrementaron su capacidad utilizada, es decir para la zafra 2007/2008 2 ingenios presentan una capacidad utilizada menor al 50 % (3.5 % Independencia y La Concepción), 2 entre 50 y 59.99 % (3.5% San Pedro y

¹⁹ La tecnología es una de las fuentes principales de la competitividad, integra conocimiento, experiencia, equipo, instalaciones y software, y permite la generación de nuevos productos, procesos, servicios y sistemas, así como mejoras a los que ya existen. El desarrollo tecnológico, sin importar su fuente, está determinado por necesidades sociales o demandas del mercado, tiene una fuerte implicación económica. Lidar con el complejo escenario de la generación y aplicación de la tecnología es el reto de la gestión tecnológica. Gestionar adecuadamente la tecnología implica conocer el mercado, las tendencias tecnológicas y la capacidad de los competidores; adquirir, de la forma más favorable, las tecnologías que no convenga desarrollar internamente así como las que se vayan a contratar en el exterior, garantizando su financiación; supervisar adecuadamente su desarrollo y reaccionar ante imprevistos; evaluar sus resultados, proteger debidamente la tecnología generada y obtener los mayores rendimientos de su explotación; conseguir la optimización de los procesos productivos, etc. (Solleiro y Castañón, 2008). Sin embargo, en los procesos de modernización y racionalización de los procesos agroindustriales se han dado bajo un contexto de dependencia tecnológica, que se manifiesta en el control de patentes agroindustriales por los principales grupos monopólicos, en la importación de, en la importación generalizada de bienes de capital y en la tendencia a adoptar tecnologías adecuadas para las necesidades de acumulación de la agroindustria, dejando en segundo término los requerimientos de la población y de los agricultores (Muñoz, 1993)

Aszuremex), 5 entre 60 y 69,99 % (8.77 % Bellavista, El Refugio, ElDorado, Santa Rosalía, y Benito Juárez), 8 entre 70 y 79.99 % (14 %, La Margarita, Calipam, Plan de Ayala, Plan de San Luis, La Primavera, Cuatotolapam, San Gabriel y Nuevo San Francisco) y el resto, 40 ingenios de 80 % y más.

La estrecha relación entre la capacidad instalada y el grado de utilización de la capacidad instalada y antigüedad permite explicar el grado de productividad de los ingenios por dos razones. Por una parte determina la obsolescencia o modernidad de la maquinaria y el equipo de los ingenios; por la otra, afecta la acumulación de conocimientos y experiencias productivas, es decir, la curva de aprendizaje, además la antigüedad incide en la dotación de obras de infraestructura para facilitar el cultivo y acarreo de caña al batey (García, 2008; Hernández Laos, 1986). Esto se refleja en cinco indicadores que junto al rendimiento de fábrica y los costos de producción explican el grado de modernidad, eficiencia, productividad y competitividad del ingenio azucarero: el nivel de recuperación de sacarosa (% Extracción de sacarosa), las pérdidas de sacarosa (%), tiempos perdidos (%) y el consumo de combustible adicional al bagazo (L petróleo/t caña) y el precio de la materia prima. Del total 45 ingenios (79 %) tiene una antigüedad igual o superior a los 50 años, del resto Plan de San de san Luis es inferior a 25 años (Figuras 1.41 a 1.44).

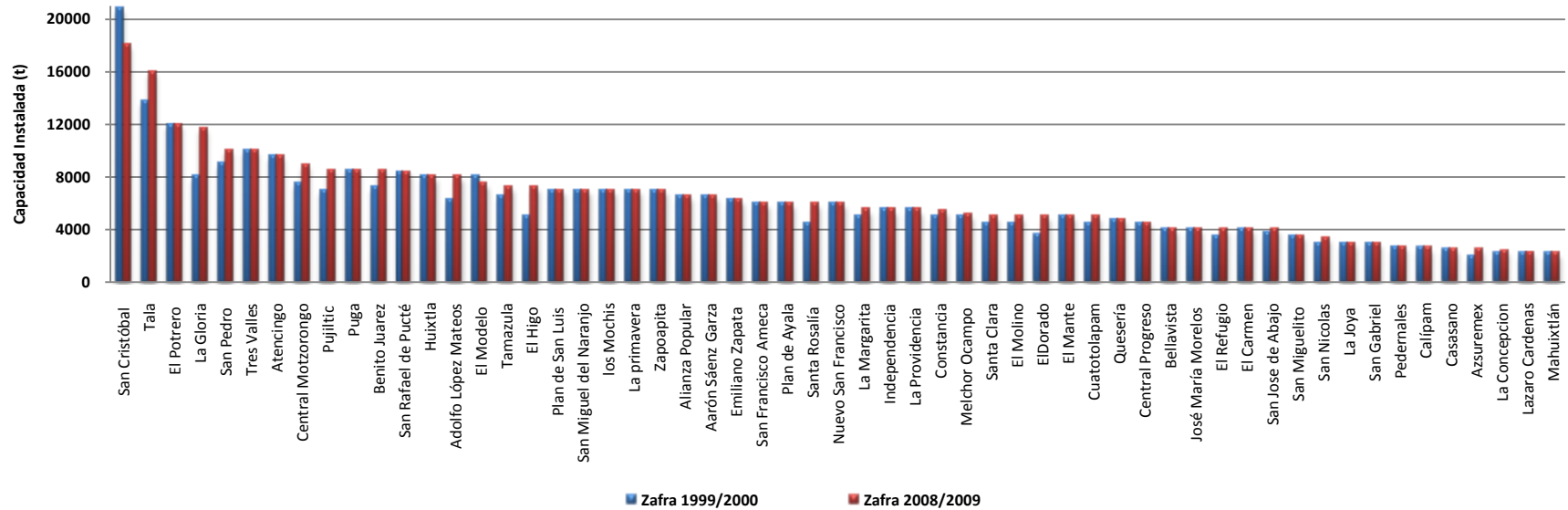


Figura 1.41. Capacidad Instalada de ingenios azucareros zafras 2000 a 2009 (CNIAA, 2010)

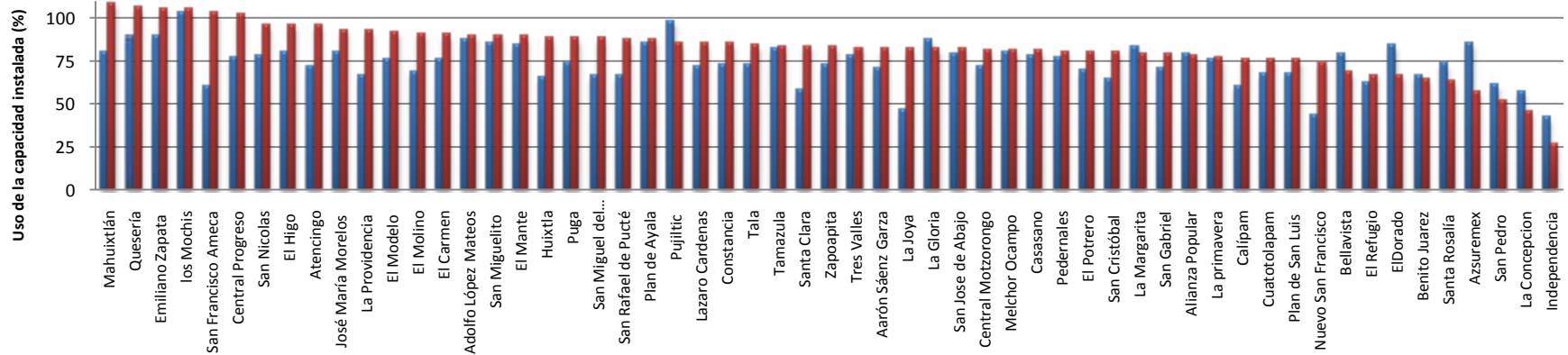


Figura 1.42. Uso de Capacidad Instalada zafras 2000 a 2009 (CNIAA, 2010)

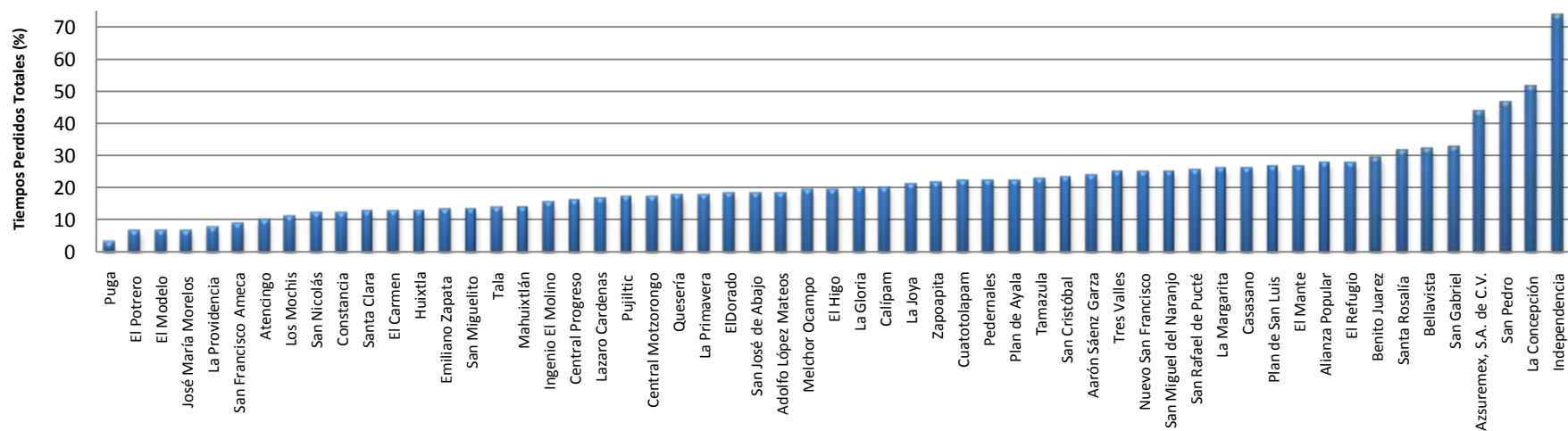


Figura 1.43. Tiempos perdidos (%) zafra 2008/2009 (CNPR, 2011)

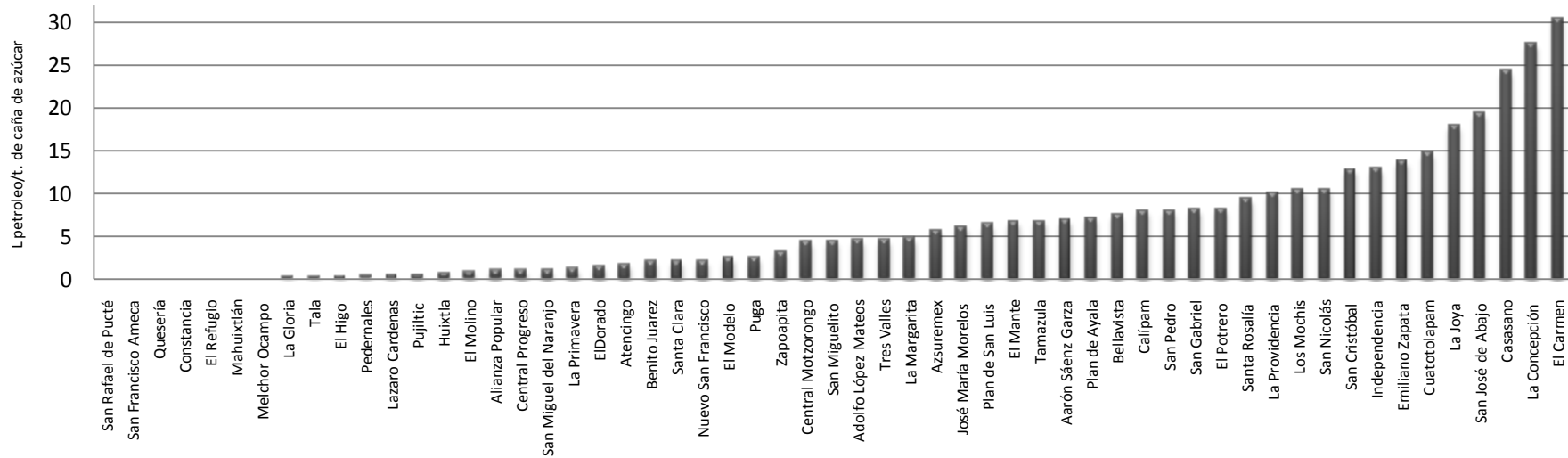


Figura 1.44. Consumo de petróleo (L/t de Caña de Azúcar) zafra 2008/2009 (CNPR, 2009)

1.10.1. Extracción y pérdidas de sacarosa

La maximización de la tasa de extracción de sacarosa de la caña industrial y la disminución de pérdidas de sacarosa en fábrica es un objetivo común de la agroindustria azucarera a nivel mundial, ya que éstas representan las mayores pérdidas en todo el proceso agroindustrial y el consecuente aumento de los costos de producción. Es bien sabido que no es factible económicamente, de acuerdo a la tecnología existente, extraer toda el azúcar contenida en el jugo de caña que entra a las fábricas; sin embargo es posible mejorar la recuperación de azúcar disminuyendo las pérdidas que se producen durante el proceso de fabricación, de hecho una buena recuperación de sacarosa en la fábrica depende en gran medida de cada una de las etapas del proceso de extracción. El cual se ve influenciado por la calidad de la materia prima y factores de las condiciones de operación en la fábrica, principalmente en la estación de molienda (en bagazo), clarificación (en cachaza) y en cristalización (mieles) (Ovando, 2006).

La capacidad de extracción de un ingenio (eficiencia de fábrica), parámetro con el que se puede determinar de forma indirecta el desarrollo tecnológico de un ingenio, se debe principalmente a dos factores a) el grado de modernidad/obsolescencia de los equipos que se refleja directamente en los tiempos perdidos y el bajo desempeño de la fábrica (rendimiento de fábrica) y b) en el alto contenido de fibra en caña que afecta el nivel de extracción del molino (García, 2004; COLPOS, 2004).

En este sentido los ingenios que presentaron una mayor aprovechamiento de sacarosa & pérdidas totales de sacarosa por encima de la media nacional (82.474 % y 2.42 %) y por tanto más competitivos, se agrupan en el cuadrante inferior derecho: > extracción y < perdidas (Figuras 1.45 al 1.47) En este grupo se encuentran 19 ingenios (33 % del total nacional): Tres Valles, Adolfo López Mateos, Mahuixtlan, Melchor Ocampo, El Molino, El Potrero, Ameca, Pujilic, El Higo, El Modelo, La Gloria, Queseria, la Primavera, Huixtla, Tamazula, Constanca, José María Morelos y Casasano. Sin embargo, el grueso de ingenios de baja capacidad de extracción y mayores pérdidas y por tanto los menos competitivos tiene 21 ingenios (37 %): Calipam, San Nicolás, Plan de Ayala, Lázaro Cárdenas, San Miguelito, La Margarita, Plan de San Luis, San José de Abajo, Central Motzorongo, Emiliano Zapata, Benito Juárez, San Cristóbal, Tenosique, Aarón Sáenz, El Refugio, Nuevo San Francisco, La Joya, Cuatotolapam, La Concepción, San Gabriel e Independencia

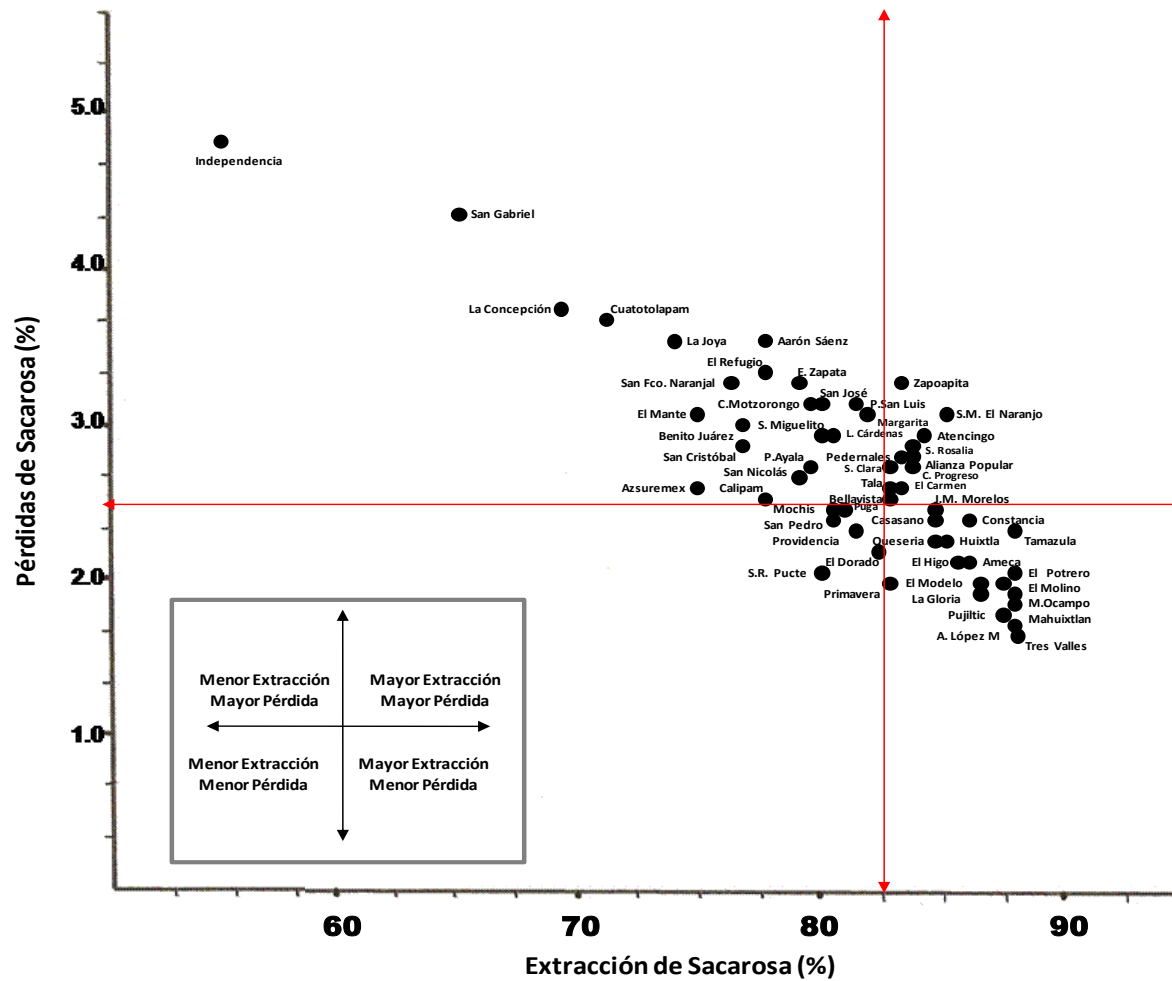


Figura 1.45. Extracción & perdidas de sacarosas de ingenios azucareros zafra 2008/2009

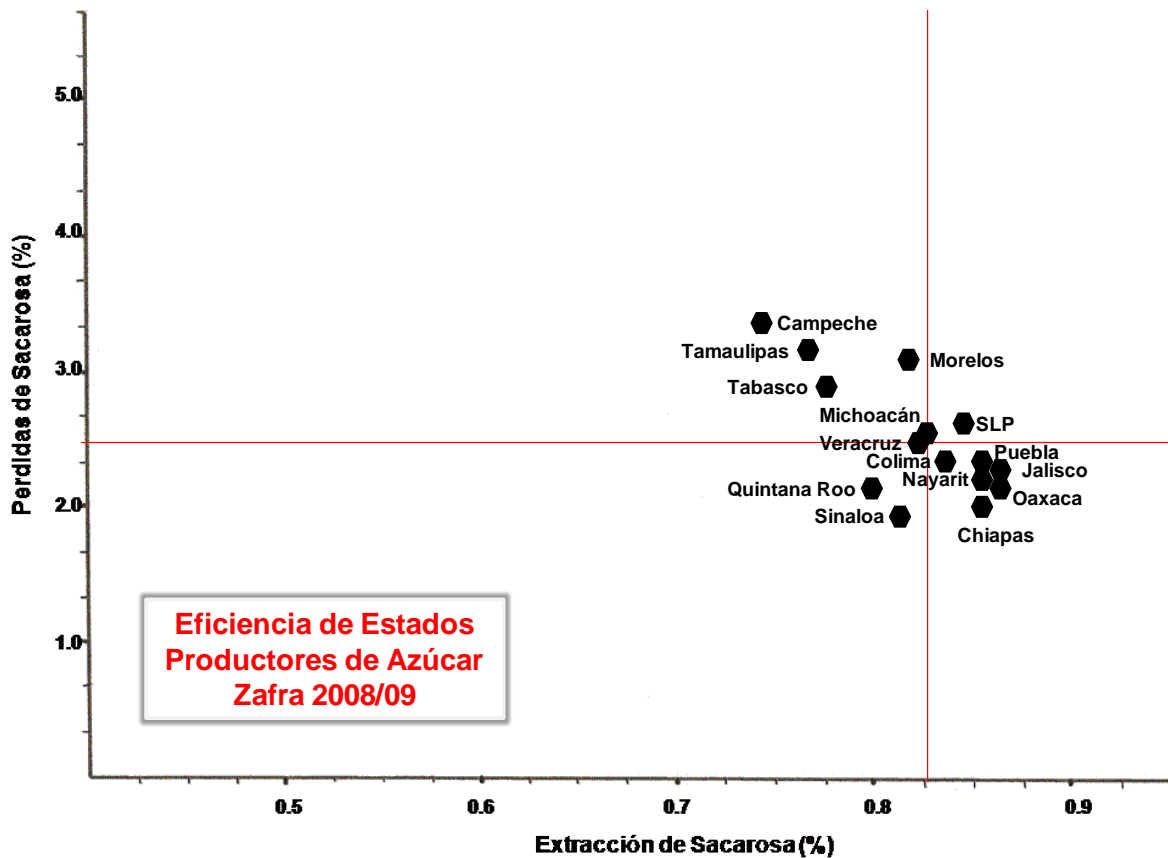


Figura 1.46. Extracción de sacarosa & Perdidas totales de sacarosa por estados productores

En relación a los estados productores, los más competitivos son: Chiapas (2 ingenios), Oaxaca (1 ingenio), Jalisco (3 ingenios), Nayarit (1 ingenio) y Colima (1 ingenio). Para los grupos azucareros están PIASA (con sus 2 ingenios: Tres valles y Adolfo López Mateos), Zucarmex (Pujilti, Melchor Ocampo, Mahuixtlan y El Higo), El Molino, Servicios Azucareros del Trópico (Ingenio la Gloria) y Porres (Santa Clara y Huixtla).

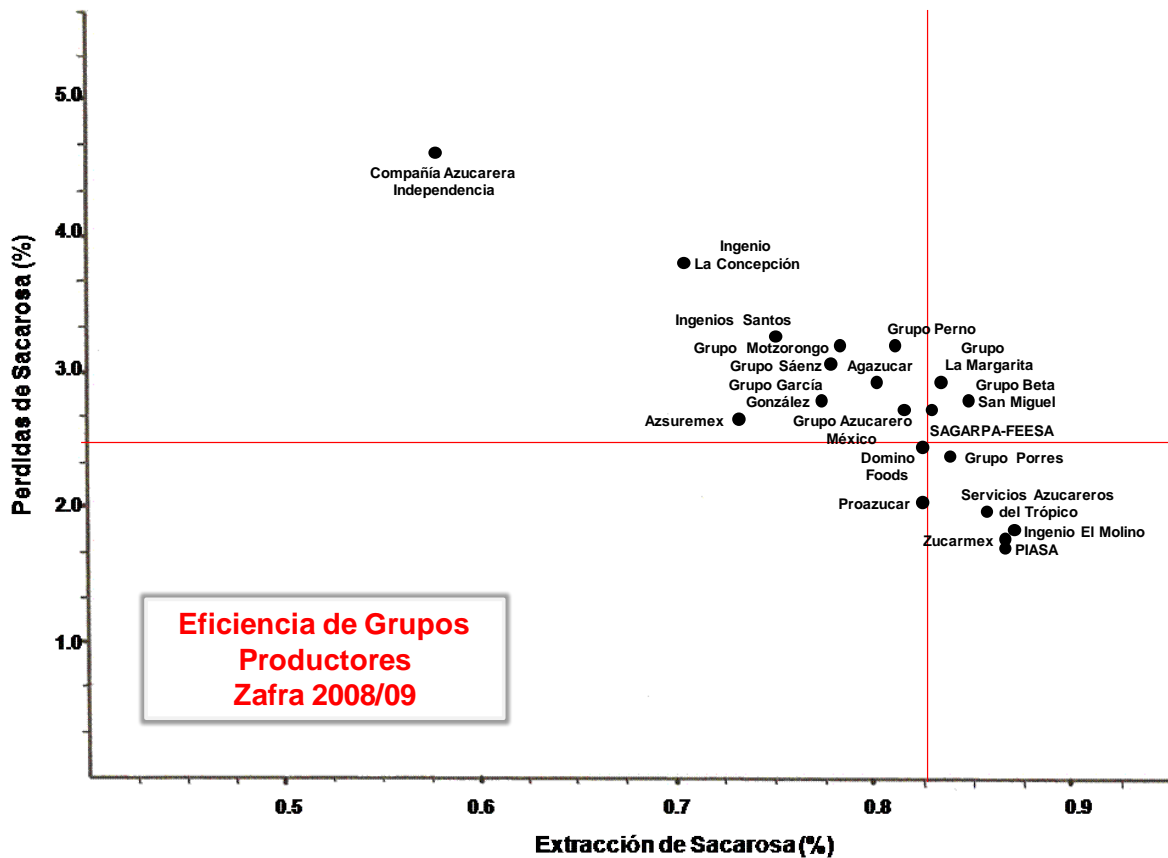


Figura 1.47. Extracción de sacarosa & Perdidas totales de sacarosa por grupos azucareros

La baja eficiencia de los ingenios mexicanos restantes se debe en gran medida al rezago tecnológico que presentan las fabricas, que se refleja en el tiempo perdido en la zafra y en el bajo desempeño de las mismas, otra de las causas es la pobre capacitación y adiestramiento del personal que labora en ellas. Aunado a lo anterior, se tienen desproporciones en las escalas de los equipos, generando desbalances y perdidas de materia y energía (COLPOS, 2004) lo que se manifiesta en Tiempos Perdidos (de estos, los ingenios mas ineficientes son: Alianza Popular 27.63 %, Bellavista 32.3 %, San Gabriel 33 % (Ingenios Santos), El Refugio 27.83 % (Grupo La Margarita), San Pedro 46 % (FEESA), La Concepción 52 % e Independencia 74 % (Gobierno del Estado de Veracruz) por estar por encima de la media nacional (20.57 %). Y en el consumo de petróleo en L/tonelada de caña (promedio nacional: 5.14): Emiliano Zapata 13.7 %, Cuatotolapam 14.4 %, La Joya 18 %, San José de Abajo 19.4 %, La Concepción 27.4 %, y El Carmen 30.5 %. Existen otros factores atribuibles a la calidad de la materia prima, es decir, el contenido de sacarosa en caña (% Pol), el contenido de fibra (% Caña) y la duración de la zafra que afectan en su conjunto el desempeño de los molinos y la capacidad de recuperación de azúcar (García, 2000; Hernández Laos, 1986).

El 52.7 % de los ingenios (30) procesaron caña de calidad superior a la media nacional durante la zafra 2007/2008 (13.815 % de sacarosa en caña), el resto procesaron caña de

calidad media a baja (por debajo de 13.815 %) resaltando los ingenios ElDorado (11.558 %), Los Mochis (11.471 %), Nuevo san Francisco (11.176 %), San Pedro (11.154 %), La Primavera (11.073 %), Independencia (10.971 %), y Tenosique (10.665 %) quienes tienen el menor contenido de sacarosa en sus campos cañeros. Por otro lado, en relación a la fibra en caña, los campos que presentan un mayor contenido de fibra, superior a la media nacional (13.26 %) son: Central Progreso (14.39 %), Tamazula (14.65 %), Lázaro Cárdenas (15.72), San Miguel del Naranjo (15.9 %), Alianza Popular (16.2 %) y Plan de Ayala (16.37 %). Caso contrario los ingenios con caña de menor fibra son: San Cristóbal (11.94 %), Pujilic y La Providencia (11.92 %), Puga (11.83 %) y Tala (10.83 %). En relación a la duración de la zafra el 38.6 % de los ingenios (22) tuvo una duración por encima de la media nacional (164 días) (Figuras 1.48 y 1.49).

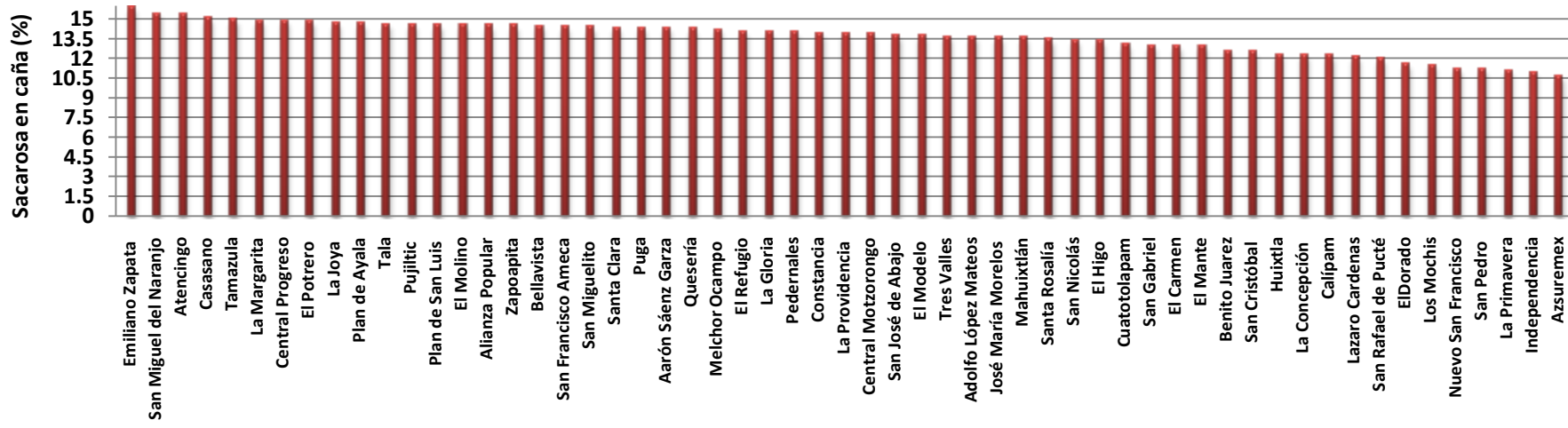


Figura 1.48. Contenido de sacarosa en caña (%Pol) (CNPR, 2011)

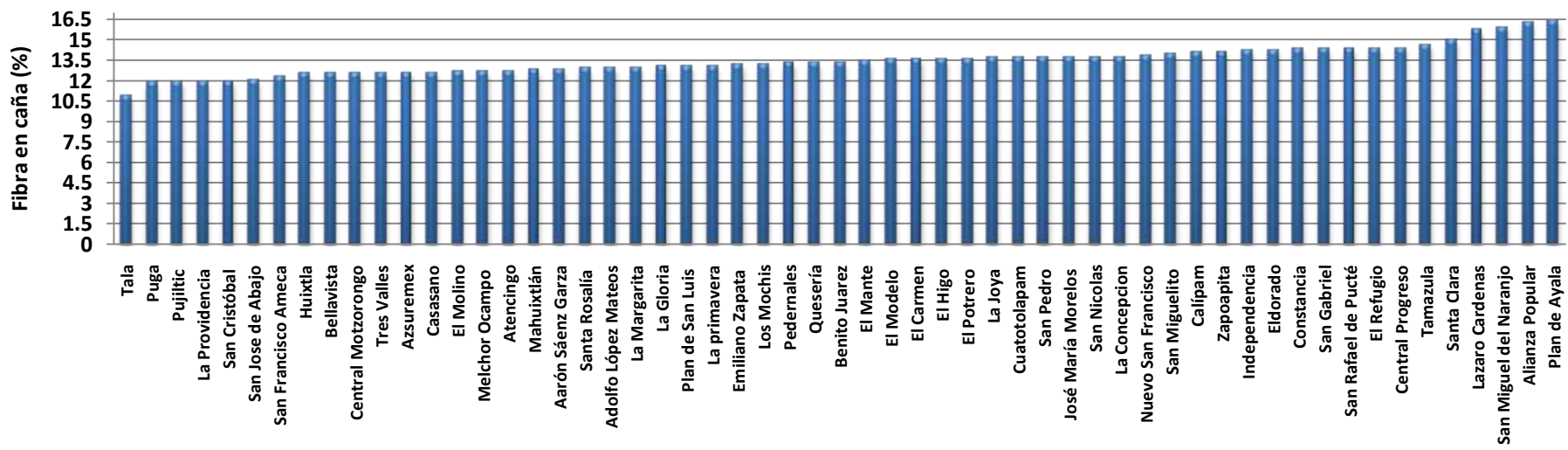


Figura 1.49. Fibra %Caña (CNPR, 2011)

1.11. Competitividad de los ingenios Mexicanos

En relación a los factores productivos analizados en campo y fábrica, en forma general a los 57 ingenios mediante las metodologías empleadas, se define un grupo de Ingenios con características de competitivos de media a alta productividad integrado por: Atencingo, Casasano, Emiliano Zapata, Melchor Ocampo, Tamazula, Pujilic, Lázaro Cárdenas, El Modelo, Tala, Pedernales, La Gloria, Ameca, El Higo, Mahuixtlan, San Miguelito, Santa Clara, El Molino, El Potrero, La Primavera, Queseria, Calipam, Aarón Sáenz, Zapoapita, Providencia, Bellavista, José María Morelos, San Miguel El Naranjo, Adolfo López Mateos, Tres Valles y ElDorado. Los cuales se encuentran distribuidos en Morelos (2), Puebla (2), Jalisco (6), Michoacán (3), Veracruz (8), Chiapas (1) Oaxaca (1), Sinaloa (2), Colima (1), Tamaulipas (1) y San Luis Potosí (1). De los grupos azucareros FEESA tiene 7, Zucarmex 4, Grupo Azucarero México 3, Beta San Miguel 3, Grupo PIASA 2, Grupo Sáenz 2, Grupo Santos 2, Grupo García González 1, Grupo La Margarita 1, Grupo Porres 1.

Este grupo integra el 49 % de la superficie cosechada de caña a nivel nacional con 346,316 ha, el 60.4 % de la producción total de azúcar (3,335,904 t.). El 65.4 % corresponde a Estándar, 49.9 % a refinado y 3 % a mascabado y el 17.5 % de alcohol (3,409,430 L). De estos solamente El Potrero, Lázaro Cárdenas, Tres Valles, Adolfo López Mateos, Aarón Sáenz Garza y Tamazula (23 %) producen refinado, Lázaro Cárdenas, Aarón Sáenz y Tamazula (10 %) estándar y refinado y Mahuixtlan mascabado. Del Total solamente Tamazula produce etanol.

De los parámetros de productividad, el grupo se caracteriza por tener un aprovechamiento de sacarosa de 83.5 %, rendimiento de fábrica de 11.81 %, el agroindustrial 10.03 TAH y las pérdidas totales de sacarosa promedian 2.32 %, tiempos perdidos 17 % y consumo de petróleo 4.06 L/t caña. En el campo cañero, en este grupo el rendimiento promedio es de 84.9 TCH; la caña contiene un 14 % de sacarosa y 13.3 % de fibra; y la duración de la zafra es de 165 días. El precio de la materia prima son en promedio \$ 419/t. de caña. Todos los parámetros son por encima de la media nacional y cercana al referente internacional (Ahumada, 2009).

A pesar de su alta productividad promedio, existen problemas serios en la mayoría de los ingenios. Del grupo de más alta productividad en los parámetros agroindustriales: Atencingo, Emiliano Zapata, Casasano, Melchor Ocampo y Tamazula (3 ingenios FEESA y 2 privados) presentan en campo alto contenido de sacarosa en caña (en promedio 15 %) sin embargo, durante el presente decenio solamente Tamazula llevo a cabo la renovación varietal, sin embargo el 86 % de su campo está sembrado con la variedad CP 72-2086, los demás ingenios mantienen su porcentaje varietal lo que pone de manifiesto un envejecimiento de sus campos que se ha mantenido productivo gracias al riego. Por otra parte, Tamazula y Melchor Ocampo presentan el 86 y 70 % respectivamente de su superficie con deficiencias de materia orgánica y de nitrógeno (N) del 70 al 100 %

de la superficie plantada del grupo de ingenios. El fósforo (P) y potasio (K) se encuentra en el nivel de alta disponibilidad. Gracias a los altos rendimientos de campo alcanzados por este grupo (de 107 a 114 TCH, equivalente a los países africanos solamente ligeramente menor a Colombia y Perú) presenta un mayor pago de caña al productor (de 437 a 464 pesos/t. de los más alto del campo cañero de México. En relación a su antigüedad está se encuentra entre 52 (Atencingo) y 85 años (Tamazula).

De los ingenios, solamente Tamazula produce estándar, refinado y etanol, a pesar de que Atencingo tiene refinería sin utilizar, de estos ingenios Emiliano Zapata y Atencingo tienen la más alta capacidad utilizada (105 y 95 %) y Melchor Ocampo la menor (81 %). En fábrica, los ingenios de este grupo tienen los más altos rendimientos tanto agroindustrial (de 13 a 14.7 %), de fábrica (de 12.3 a 12.9 %) de extracción de sacarosa (de 80 a 87 %) y pérdidas de sacarosa (de 1.9 a 2.47 %) parámetros competitivos a nivel internacional. Sin embargo, Casasano, Tamazula y Melchor presentan elevados tiempos perdidos (por arriba del 19 %) y Casasano elevado consumo de petróleo (24.3 L/t. de caña). En el periodo analizado solamente Emiliano Zapata incorporo como innovaciones tecnológicas 1 turbogenerador en la planta eléctrica y Atencingo 1 tanque colector de 12,000 L para incrementar su capacidad utilizada en 33 % (Cuadro 1.23).

En los ingenios Casasano (94.5 %), Atencingo (82 %) y Emiliano Zapata (76.4 %), presentan la mayor superficie con una tenencia de la tierra menor a la media nacional (3.97 ha) lo que incide directamente en la capacidad de implementar economías de escala y Melchor Ocampo (47 %) y Tamazula (40 %) la menor del total de su superficie. En relación a los resultados económicos (datos de COAAZUCAR de la zafra 2005/2006) Emiliano Zapata tiene el mayor costo de producción (\$ 249 /t. de caña) por encima de la media nacional (\$ 243 /t. de caña) y Melchor Ocampo el menor (\$ 204/t. de caña). Atencingo tiene la mayor utilidad del grupo y a nivel nacional (\$ 224/t. caña) y Casasano la menor del grupo (\$ 181/t caña). La caña más costosa (\$ 302/ t. de caña y por lo tanto la menor utilidad \$ 51/t. de caña correspondió al ingenio Los Mochis) (SIAP, 2009)

En el grupo de ingenios de media a alta productividad: Pujilic, Lázaro Cárdenas, El Modelo, Tala, Pedernales, La Gloria, Ameca, El Higo, Mahuixtlan, San Miguelito, Santa Clara, El Molino, El Potrero, La Primavera, Queseria, Calipam, Aarón Sáenz, Zapopita, Providencia, Bellavista, José María Morelos, San Miguel El Naranjo, Adolfo López Mateos, Tres Valles y El Dorado (6 ingenios FEESA y 19 privados). Presentan marcadas diferencias de los parámetros de productividad que se reflejan en su posición competitiva

En relación al campo, en estos ingenios se presentan parámetros productivos por encima de la media nacional y al promedio mundial; los rendimientos de campo más altos se presentan en Pedernales 96.71, La Primavera 96.37, El Modelo 94.5, Pujilic 92.2 y Calipam 90.1 TCH; aunque la mayoría se encuentra entre 75 y 90 TCH, sin embargo, de este grupo, los ingenios que presentan menores rendimientos de campo son San Miguel El Naranjo 72.3, José María Morelos 71.4,

El Potrero 69.72, El Molino 69.5, La providencia 67.2, Adolfo López Mateos 62.17 y Tres Valles 57.6 TCH. Estos ingenios de bajo rendimiento presentan contenidos de sacarosa en caña promedio de 14 %, resalta en este grupo San Miguel El Naranjo con sacarosa en caña 15.4 % el segundo más alto de México, menor al que presenta el campo de Emiliano Zapata, sin embargo el contenido de fibra en caña se encuentra entre 10.81 para Tala (el más bajo de México) y 15.72 para Lázaro Cárdenas (el tercero más alto superado por 16.2 % de Alianza Popular y 16.4 % de Plan de Ayala ambos en San Luis Potosí). Los ingenios del grupo son muy dependientes de las condiciones climáticas, ya su superficie cañera es en la mayoría de temporal a excepción de La Primavera, Calipam, Aarón Sáenz, San Miguel El Naranjo y El Dorado que tienen áreas de riego, además de que la topografía que presentan en la mayoría de sus zonas es accidentada.

En estos ingenios de media a alta productividad las variedades dominantes son la Mex 69-290 y CP 72-2086, al igual que en todo el campo mexicano; que desde la zafra 2000/2001 han venido sustituyendo a otras variedades como L60-14, Mex 57-473, NCo-310, M-903, Co 997, Q-96, Mex 68-P-23, POJ 2878 etc. De todos los ingenios del grupo, solamente Tres Valles mantiene un programa de innovación con el desarrollo de variedades propias las cuales tienen la proporción en su campo: ITV 92-1424 9 %, ITV 92-373 9%, ITV 92-465 0.6 %.

En relación a los suelos, a excepción de Adolfo López Mateos, El Molino, El Potrero, La Gloria, La Providencia, Mahuixtlan, Pedernales, Pujilic, Queseria y Zapoapita se presentan serios problemas de contenido de materia orgánica en los suelos por arriba del 60 % de su superficie; por otro lado Adolfo López Mateos, El Higo, Mahuixtlan, Tala, Tres valles y Zapoapita tienen problemas de pH en hasta el 97 % de su superficie lo que se manifiesta en la disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes como Ca, Mg, K y P y favorece la solubilización de elementos tóxicos para la planta de caña como el Al y Mn. La fertilidad de los suelos en Nitrógeno (N) es muy baja desde el 43 (La providencia) y hasta el 99.7 % de la superficie (Tres Valles y Zapoapita). Para fósforo (P) solamente en los ingenios Adolfo López Mateos, Mahuixtlan, Pedernales, Pujilic y Zapoapita se tiene de baja a media disponibilidad al igual que para potasio (K) los ingenios Adolfo López Mateos, El Potrero y La Providencia. El resto se mantienen en alta disponibilidad para ambos nutrientes del suelo. En relación al pago de la materia prima se tiene el margen de 331 en La Primavera hasta 463 pesos/t. de caña en San Miguel El Naranjo.

Para la tenencia de la tierra, los ingenios que presentan la mayor superficie con una tenencia de la tierra menor a la media nacional (3.97 ha) son Pedernales (97.8 %), Lázaro Cárdenas (91.3 %), San Miguelito (88 %), Bellavista (80.3 %), Tala (70.5 %) y El Modelo (69.3 %), por el contrario los que tienen una menor estructura minifundista son: La Primavera (5.3 %), Aarón Sáenz (8.2 %), El Higo (9.0 %), Tres Valles (11.35 %), Adolfo López Mateos (15.02 %) y Zapoapita (15.3 %).

En el subsistema fábrica, la estructura productiva está integrada por 21 ingenios estandaristas (80.8 %), 3 refinadores (11.5 %) y 1 (3.8 %) que producen ambos tipos y solamente 1 que produce estándar y mascabado; no hay producción de etanol, a pesar que Calipam, Aarón Sáenz Pujiltic, El Potrero y La Providencia cuentan con destilería. Del total del grupo solamente Pujiltic, La Gloria, El Dorado y Bellavista disminuyeron su capacidad utilizada en 13.6, 5.8, 21 y 14 % respectivamente, el resto (22 ingenios) la incremento o permaneció constante durante el periodo 2000/2008. De estos ingenios el más antiguo es El Molino (126 años) y el más reciente Tres valles (34 años).

De los parámetros de productividad, los ingenios que presentaron el mayor y menor rendimiento de fábrica durante la zafra 2007/2008 respectivamente son San Miguel El Naranjo (12.87) y La Primavera (9.16); sin embargo, el rendimiento agroindustrial es en mayor y menor escala para El Modelo (11.024) y Tres Valles (6.76); este último, a pesar de tener el más bajo rendimiento agroindustrial del grupo presenta el mayor aprovechamiento de sacarosa a nivel nacional (86 %) y menores pérdidas de sacarosa (1.9 %) junto a Adolfo López Mateos y El Molino, contrario a Aarón Sáenz (77 %) con el más bajo nivel de aprovechamiento de sacarosa y las mayores pérdidas totales de sacarosa (3.19 %) del grupo. Sin embargo, Bellavista presenta el mayor tiempo perdido (32.3 %) y El Potrero el menor (6.44 %). Del total de ingenios de grupo San Francisco Ameca, Queseria, Mahuixtlan, Tala, Lázaro Cárdenas, Pedernales, La Gloria, El Higo, El Molino y Pujiltic se consideran cero petróleo consumido, por el contrario La Providencia tiene el más alto consumo (10.08 L/t de caña) 50 % por encima de la media nacional (5.14 %). El incremento de parámetros productivos de los ingenios del grupo se debe en gran parte a las innovaciones²⁰ en las áreas de proceso en la fábrica azucarera que se incorporaron en el periodo 2000/2009

En relación a los resultados económicos, Tres Valles tiene el mayor costo de producción (\$ 283 /t. de caña) y José María Morelos el menor de grupo y a nivel nacional (\$ 173/t. de caña). El Potrero tiene la mayor utilidad (\$ 189.2/t caña) y La Primavera la menor (\$ 81.4/t. caña).

De todos los parámetros productivos analizados, y de acuerdo con la matriz de ponderación de indicadores de productividad de Martínez y Saucedo (1998) es posible determinar el grado o índice de productividad al integrar y estandarizar los

²⁰ Solleiro (1993) define a la innovación como un proceso que consiste en conjugar oportunidades técnicas con necesidades y en el cual se integra un paquete tecnológico que tiene por objetivo introducir o modificar productos o procesos en un sector productivo, con su consecuente comercialización. La aceptación por el mercado, es una condición que debe ser reunida por todas las innovaciones independientemente de sus orígenes. Tiene que haber entonces, un involucramiento de las organizaciones del sector productivo, quienes son los que incorporaran los cambios técnicos a sus sistemas de producción y les proporcionaran sentido económico y social. El mercado de la innovación son los usuarios. A nivel de firma, este puede ser externo, con la introducción de un nuevo producto o interno con el desarrollo o adquisición de nuevos procesos de producción o de métodos organizacionales.

factores de los subsistemas campo, fábrica en las respectivas regiones cañeras para el periodo analizado (Cuadros 1.24 al 1.29 y Figuras 1.50 al 1.52)

Cuadro 1.24. Índice de productividad del campo cañero/ingenio (Zafra 1999/2000)

No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio
1	Atencingo	20	EIDorado	39	La Margarita
2	Pujiltic	21	Mahuixtlan	40	Zapoapita
3	San Fco. Ameca	22	San José Abajo	41	Constancia
4	El Modelo	23	C. Motzorongo	42	Aarón Sáenz
5	M. Ocampo	24	San Miguelito	43	José Ma. Morelos
6	La Gloria	25	A. López M	44	Independencia
7	El Molino	26	San Pedro	45	Aszuremex
8	El Potrero	27	San Nicolás	46	El Refugio
9	Casassano	28	Bellavista	47	Plan de Ayala
10	Calipam	29	El Carmen	48	Benito Juárez
11	Queseria	30	La Providencia	49	S.M. El Naranjo
12	Tres Valles	31	Huixtla	50	San Gabriel
13	Tala	32	La Concepción	51	Plan de SLP
14	Tamazula	33	San Cristóbal	52	Santa Rosalía
15	Puga	34	Alianza Popular	53	El Mante
16	E. Zapata	35	Santa Clara	54	San Rafael
17	Pedernales	36	L. Cárdenas	55	C. Progreso
18	La Primavera	37	Los Mochis	56	Cuatotolapam
19	Nuevo San Fco.	38	El Higo	57	La Joya

Cuadro 1.25. Índice de productividad del campo cañero/ingenio (Zafra 2008/2009)

No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio
1	Atencingo	20	San Miguelito	39	San Nicolás
2	E. Zapata	21	La Primavera	40	San Cristóbal
3	Tala	22	A.Sáenz G	41	C. Progreso
4	Pujiltic (La Fe)	23	J.M.Morelos	42	El Carmen
5	Casasano	24	L. Cárdenas	43	Constancia
6	El Higo	25	El Molino	44	San Pedro
7	La Gloria	26	Providencia	45	Cuatotolapam
8	S. F. Ameca	27	Zapoapita	46	El Refugio
9	M. Ocampo	28	Tres Valles	47	Santa Rosalía
10	El Modelo	29	Huixtla	48	San Rafael
11	Mahuixtlan	30	Los Mochis	49	La Joya
12	Tamazula	31	A. López M.	50	La Concepción
13	S.M. Naranjo	32	Calipam	51	Benito Juárez
14	C.Motzorongo	33	EIDorado	52	Plan de Ayala
15	Queseria	34	San José	53	Alianza Popular
16	Puga	35	La Margarita	54	Independencia
17	El Potrero	36	El Mante	55	San Gabriel
18	Bellavista	37	Santa Clara	56	Aszuremex
19	Pedernales	38	Plan de SLP	57	Nuevo San Fco.

Cuadro 1.26. Índice de productividad de la fábrica de azúcar ((Zafra 1999/2000)

No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio
1	A. López M.	20	Constancia	39	Los Mochis
2	Puga	21	San Cristóbal	40	L. Cárdenas
3	Pujiltilic	22	Mahuixtlan	41	Calipam
4	La Gloria	23	El Carmen	42	Plan de Ayala
5	Tres Valles	24	Plan de San Luis	43	El Mante
6	A. Popular	25	San Pedro	44	Providencia
7	El Higo	26	San Fco. Ameca	45	Casassano
8	La Margarita	27	Zapoapita	46	EIDorado
9	Atencingo	28	E. Zapata	47	Pedernales
10	M. Ocampo	29	Queseria	48	Nuevo San Fco.
11	B. Juárez	30	Bellavista	49	La Primavera
12	C. Motzorongo	31	San José Abajo	50	Santa Clara
13	El Modelo	32	Aarón Sáenz	51	La Concepción
14	Tamazula	33	San Nicolás	52	Huixtla
15	Tala	34	Santa Rosalía	53	Aszuremex
16	San Rafael	35	C. Progreso	54	El Refugio
17	El Potrero	36	José Ma. Morelos	55	Cuatotolapam
18	El Molino	37	San Gabriel	56	Independencia
19	S.M. El Naranjo	38	San Miguelito	57	La Joya

Cuadro 1.27. Índice de productividad de la fábrica de azúcar (Zafra 2008/2009)

No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio
1	Pujiltilic (La Fe)	20	E. Zapata	39	Huixtla
2	A. López M.	21	Puga	40	EIDorado
3	Tres Valles	22	Queseria	41	San Pedro
4	Atencingo	23	C.Motzorongo	42	La Primavera
5	M. Ocampo	24	San Rafael	43	L. Cárdenas
6	Tamazula	25	La Gloria	44	San Miguelito
7	El Potrero	26	San Cristóbal	45	Benito Juárez
8	S.M. Naranjo	27	San Nicolás	46	Pedernales
9	Providencia	28	Santa Clara	47	Bellavista
10	Plan de Ayala	29	Los Mochis	48	Nuevo San Fco.
11	Alianza Popular	30	El Higo	49	Calipam
12	Zapoapita	31	Mahuixtlan	50	El Carmen
13	El Molino	32	El Mante	51	El Refugio
14	El Modelo	33	Casasano	52	La Joya
15	S. F. Ameca	34	Santa Rosalía	53	Cuatotolapam
16	Tala	35	La Margarita	54	Aszuremex
17	Constancia	36	San José	55	Independencia
18	C. Progreso	37	J.M.Morelos	56	San Gabriel
19	Plan de SLP	38	A.Sáenz G.	57	La Concepción

Cuadro 1.28. Índice de productividad de Ingenios azucareros (zafra 1999/2000)
(Media nacional 0.853)

No.	Ingenio	Valor	No.	Ingenio	Valor	No.	Ingenio	Valor
1	Pujiltilic (La Fe)	0.963	20	Benito Juárez	0.773	39	La Providencia	0.682
2	La Gloria	0.943	21	Queseria	0.771	40	Plan de San Luis	0.678
3	A. López M.	0.928	22	San Pedro	0.757	41	Aarón Sáenz	0.672
4	Puga	0.923	23	El Carmen	0.757	42	La Primavera	0.651
5	Atencingo	0.912	24	Emiliano Zapata	0.753	43	Nuevo San Fco.	0.651
6	Tres Valles	0.898	25	San José Abajo	0.752	44	José Ma. Morelos	0.647
7	M. Ocampo	0.893	26	Constancia	0.743	45	Huixtla	0.631
8	El Modelo	0.893	27	Bellavista	0.732	46	La Concepción	0.631
9	C. Motzorongo	0.853	28	San Nicolás	0.731	47	Santa Rosalía	0.628
10	Tamazula	0.847	29	San Rafael	0.728	48	San Gabriel	0.627
11	Tala	0.847	30	San Miguelito	0.726	49	Plan de Ayala	0.622
12	El Potrero	0.847	31	Calipam	0.721	50	Santa Clara	0.611
13	La Margarita	0.838	32	Casassano	0.721	51	C. Progreso	0.607
14	El Higo	0.838	33	S.M. El Naranja	0.702	52	El Mante	0.602
15	A. Popular	0.838	34	Pedernales	0.702	53	El Refugio	0.546
16	El Molino	0.822	35	EIDorado	0.702	54	Aszuremex	0.546
17	Ameca	0.817	36	Zapoapita	0.692	55	Independencia	0.496
18	San Cristóbal	0.782	37	Los Mochis	0.687	56	Cuatotolapam	0.436
19	Mahuixtlan	0.777	38	L. Cárdenas	0.687	57	La Joya	0.431

Cuadro 1.29. Índice de productividad de Ingenios azucareros (zafra 2008/2009)
(Media nacional 0.788)

No.	Ingenio	Valor	No.	Ingenio	Valor	No.	Ingenio	Valor
1	Pujiltilic (La Fe)	0.988	20	El Higo	0.792	39	L. Cárdenas	0.707
2	Atencingo	0.957	21	Casasano	0.791	40	Huixtla	0.707
3	M. Ocampo	0.917	22	Plan de Ayala	0.778	41	San Rafael	0.703
4	A. López M.	0.915	23	Mahuixtlan	0.771	42	Pedernales	0.702
5	Tamazula	0.898	24	C. Progreso	0.768	43	EIDorado	0.687
6	Tala	0.887	25	Constancia	0.768	44	Santa Rosalía	0.672
7	El Potrero	0.878	26	Plan de SLP	0.767	45	Bellavista	0.650
8	S.M. Naranja	0.878	27	Alianza Popular	0.759	46	San Pedro	0.647
9	El Modelo	0.873	28	Los Mochis	0.757	47	Benito Juárez	0.602
10	S. F. Ameca	0.867	29	A.Sáenz G.	0.752	48	Calipam	0.586
11	E. Zapata	0.862	30	Santa Clara	0.737	49	El Refugio	0.571
12	Providencia	0.858	31	J.M.Morelos	0.732	50	El Carmen	0.541
13	Tres Valles	0.858	32	La Primavera	0.726	51	La Joya	0.526
14	El Molino	0.833	33	San Miguelito	0.726	52	Cuatotolapam	0.520
15	Zapoapita	0.833	34	San Nicolás	0.717	53	Nuevo San Fco.	0.492
16	C.Motzorongo	0.822	35	San Cristóbal	0.716	54	Aszuremex	0.411
17	La Gloria	0.816	36	San José	0.713	55	Independencia	0.411
18	Queseria	0.802	37	La Margarita	0.712	56	La Concepción	0.400
19	Puga	0.802	38	El Mante	0.711	57	San Gabriel	0.386

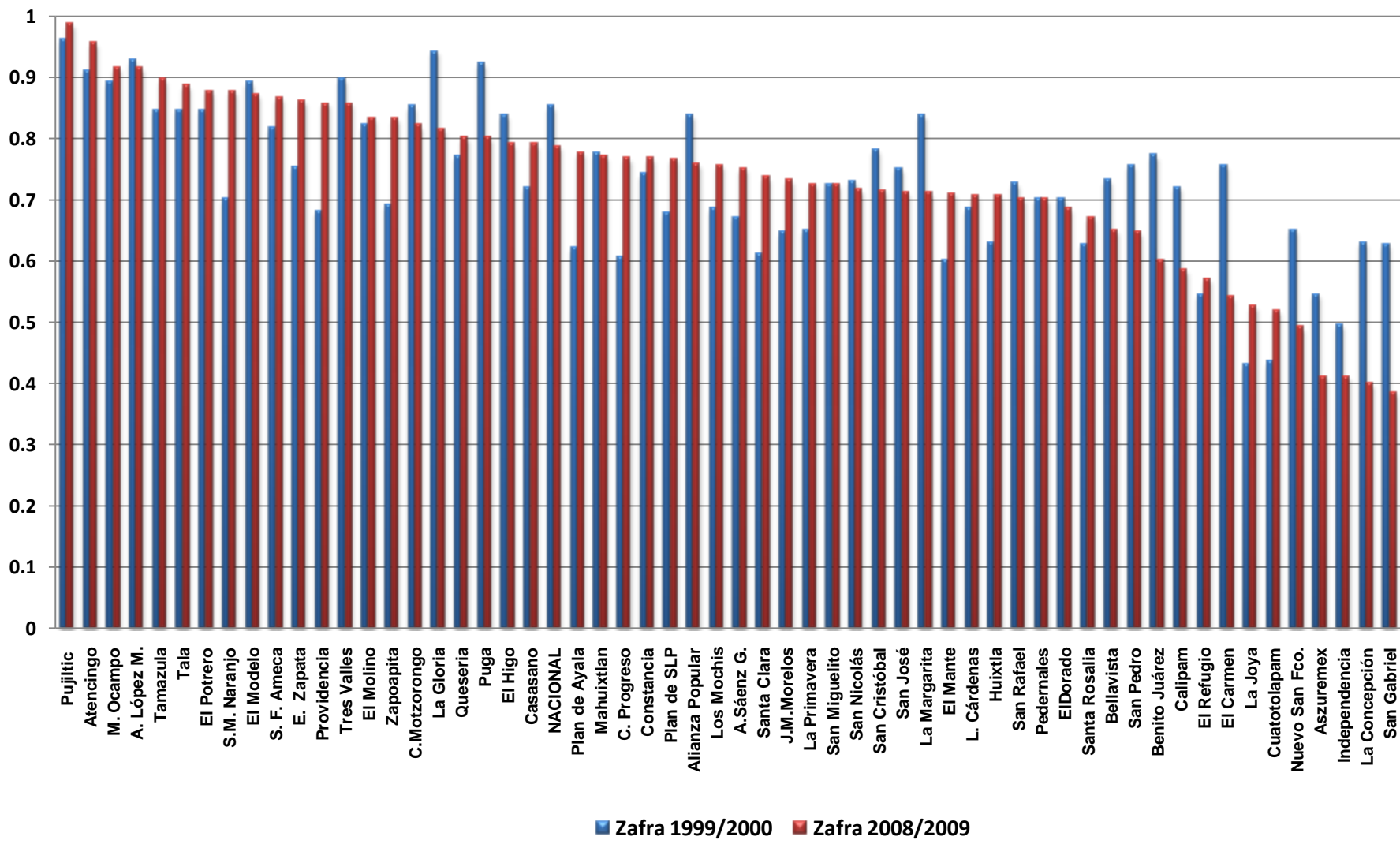


Figura 1.50. Índice de Productividad de ingenios mexicanos

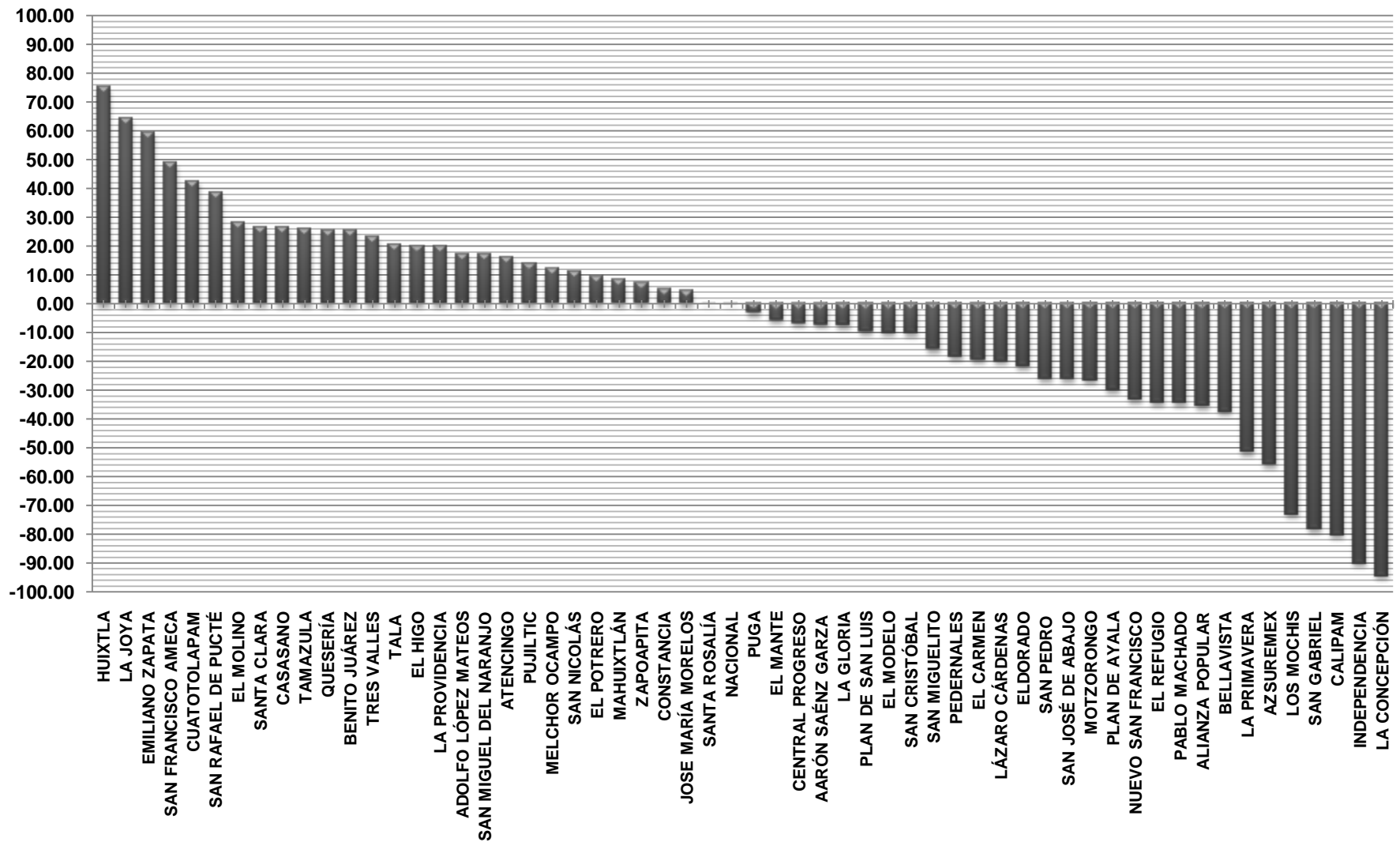


Figura 1.51. Incremento de Productividad (%) de ingenios (base sacarosa) zafras 1999/2000 a 2008/2009

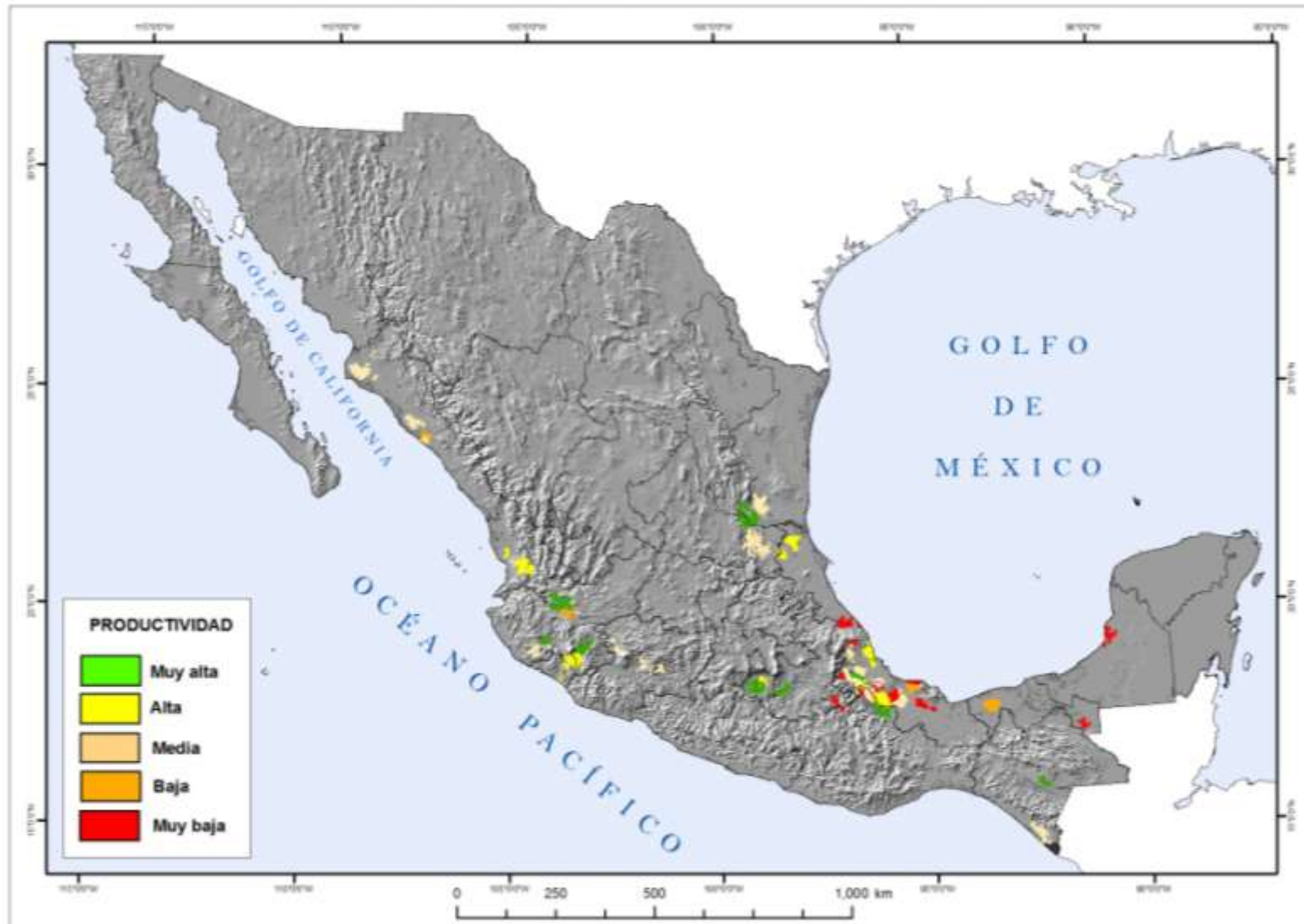


Figura 1.52. Distribución espacial de Ingenios Azucareros por nivel de productividad (Aguilar *et al* 2010)

Por lo tanto, para el final de la zafra 2008/2009, 21 ingenios se encuentran por encima de la media nacional (ingenios de media a alta productividad, considerados competitivos), 24 se consideran de media a baja productividad (medianamente competitivos), y el resto (12) de baja productividad (no competitivos).

Del total de ingenios, Atencingo, Emiliano Zapata, Melchor Ocampo, Tamazula, Pujilic, El Modelo, Tala, Ameca, El Potrero, Queseria y San Miguel El Naranjo presentaron estabilidad y productividad competitiva en ambos subsistemas dentro del periodo analizado. Del resto: Pedernales, Mahuixtlán, San Miguelito, La Primavera, Aarón Sáenz, Bellavista, Central Motzorongo y Puga mantienen su actividad productiva debido a las características productivas de su campo cañero; al igual que Adolfo López Mateos, Tres Valles, El Molino, Zapopita, Queseria, El Higo, Providencia y Lázaro Cárdenas, debido a la productividad de su fábrica de azúcar, a pesar de tener un campo no competitivo lo que hace que se ubiquen al ponderar las características de campo y fábrica por debajo de la media nacional (que en el periodo evaluado también disminuyó su productividad al pasar el índice nacional de 0.853 a 0.788), a pesar de tener en algunos casos indicadores de campo o fábrica, por encima de la media nacional. Lo mismo sucede para Santa Clara, Calípam, José María Morelos, EIDorado donde la discrepancia en los resultados de los indicadores se debe a algunas características peculiares de estos ingenios como baja capacidad de molienda, su relativamente baja economía de escala, extracción de sacarosa y producción de azúcar (Calípam, EIDorado, Jose María Morelos y Santa Clara), sacarosa en caña (EIDorado), tiempos perdidos (Calípam) que determinan su productividad y por tanto su ponderación final (Cuadro 1.30). Para este grupo de ingenios integrado por San Pedro, Benito Juárez, Calípam, El Refugio, El Carmen, La Joya, Cuatotolápan, Nuevo San Francisco, Aszuremex, Independencia, La Concepción y San Gabriel, a excepción de Calípam, se localizan en la costa del Golfo de México

Cuadro 1.30. Indicadores productivos de ingenios de baja competitividad (Ahumada, 2009)

Indicador de Productividad	Santa Clara	Calípam	J. M. Morelos	EIDorado
Caña Molido (t)	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
Rendimiento de Campo (t./Ha.)	REGULAR	ACEPTABLE	MINIMO	EXCELENTE
Azúcar Producida (t)	REGULAR	BAJO	REGULAR	MINIMO
Rendimiento agroindustrial (t./Ha)	REGULAR	MINIMO	MINIMO	ACEPTABLE
Rendimiento de Fábrica (%)	ACEPTABLE	BAJO	REGULAR	BAJO
Sacarosa en Caña (%)	BUENO	MINIMO	REGULAR	BAJO
Pérdidas Totales (%)	ACEPTABLE	REGULAR	BUENO	BUENO
Consumo de Petróleo (L/ T. Az.)	BUENO	MINIMO	ACEPTABLE	BUENO
Eficiencia de Fábrica (%)	ACEPTABLE	BAJO	ACEPTABLE	MINIMO
Tiempos Perdidos (%)	BUENO	BAJO	ACEPTABLE	MINIMO

Es decir, la preocupación por la crisis de la industria azucarera está presente en la mayoría de los discursos y agendas de los principales actores sociales, políticos, económicos y académicos actuales. La mayoría plantea el desarrollo como vía para la solución de esos problemas. Más aún, los adjetivos “sustentable” y “competitivo” parecen hoy un concepto generalizado y una condición para la legitimación social de la idea de desarrollo. Sin embargo, son muy variados y distintos los sentidos desde los cuales se conciben los problemas y se plantean y abordan los diagnósticos. Cuando nos aproximamos a la problemática de las concepciones del desarrollo se evidencia en primer

lugar que se trata ante todo de una cuestión eminentemente práctica, y más precisamente política, ya que la producción de discursos con pretensión de validez social sobre el desarrollo de la agroindustria azucarera no está principalmente orientada a definir (ya sea normativa o descriptivamente) cómo es y en qué consiste el desarrollo de la misma, sino a legitimar y justificar prácticas, decisiones y formas de intervención en la realidad social (Medwid, 2008; Castillo Girón 2005; Chiarulli, et. al, 2003)

En relación con lo anterior, existen, según Seebaluck, (2008) cuatro alternativas a seguir en los ingenios azucareros para incrementar la productividad:

(i) La estrategia tradicional de basarse sólo en la producción de azúcar. Esta no es una estrategia eficaz, sobre todo si se depende de los mercados de exportación. Bajo esta estrategia, no hay normalmente ningún valor agregado, salvo ser a la vez proveedor de melazas; 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 del dulce y su capacidad de campo con objetivo de aumentar su rentabilidad.

(ii) 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 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 etc.)

(iii) 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 siguen a la baja. Cuando los mercados se saturan de azúcar, los precios desciendan y los mercados de etanol emerjan, la industria dejará de capitalizarse. Esta alternativa podría ser adecuada para ingenios que poseen destilería como, Calípam, Casasano, Aarón Sáenz, El Mante, El Potrero, La Providencia, etc.

(iv) Producción de azúcar y etanol en proporciones flexibles. En este escenario, el azúcar 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.

Bajo estos escenarios, podría haber un impacto positivo en la viabilidad económica de la agroindustria de la caña de azúcar a través de la diversificación productiva y puede ser una oportunidad para los mercados regionales. En este sentido, existen numerosos estudios de índole técnica llevados a cabo en otros países azucareros como Colombia, India, Estados Unidos, China, Isla Mauricio, Australia, Sudáfrica, Guatemala, Argentina entre otros que plantean diversos esquemas de diversificación productiva basados en la caña de azúcar, coproductos y subproductos bajo el concepto de integración productiva, biorefinería, ingeniería metabólica, sucroquímica y agroindustria rural, los cuales presentan diversas aplicaciones dentro de la cadena de valor y competitividad entre tres líneas de productos: azúcar, etanol y subproductos (Cuadro 1.31).

Cuadro 1.31. Desarrollo Agro-industrial de la caña de azúcar (Sigh, 1995)

Sector de la economía	Productos de valor agregado derivados de la caña de azúcar
Alimentación	Edulcorantes (sacarosa y derivados no calóricos), vitaminas, aminoácidos, bebidas, grasas, proteína comestible
Salud	Químicos, antibióticos, enzimas, productos especializados
Productos para la agricultura y ganadería	Forrajes, piensos, abonos, fertilizantes, acolchados, fijador de Nitrógeno, Insecticidas y Biofungicidas Biológicos
Industria	Solventes, plásticos, derivados del etanol (alcohoquímica), anticorrosivos, tensoactivos, biocidas, derivados furánicos
Energía	Cogeneración, gasificación, pirolisis, biogás, briquetas
Transporte	Gasohol, biodiesel, biogás, BioOil
Educación y cultura	Papel periódico, escritura, cartones, libro de texto.
Vivienda y construcción	Tableros, moldeados, composites
Industria ligera	Textiles, sucroquímica, carbones, derivados de celulosa
Comunicaciones	Materiales aislantes
Industria pesada	BioOil, resinas, composites, aglomerados bagazo/cemento
Desarrollo humano	Generación de empleo en áreas rurales

Este sistema o complejo agroindustrial es altamente competitivo y está basado en el mercado y puede soportarse en el cambio estructural y el comportamiento de los factores de producción tales como capital, mano de obra, la tierra y la tecnología.

1.12. Conclusiones

La falta de competitividad de la agroindustria azucarera mexicana sólo le permitirá persistir siempre y cuando se mantenga en las mismas condiciones, debido a la falta de productos diferenciados y a su esquema productivo tradicional, lo cual se prevé que sea solamente en un plazo medio.

La pérdida de competitividad que ha sufrido la agroindustria se deriva de una crisis productiva, estructural, y metodológica, los altos costos de transacción que genera una infraestructura cara y deficiente, aunados a la ausencia de proyectos y estrategias que permitan capitalizar las ventajas comparativas de las regiones cañeras. Esto ha agravado las dificultades de funcionamiento de la producción con un impacto significativo en su

rendimiento y en la forma como es evaluado su desempeño a través de los indicadores productivos de campo y fábrica y su mutua relación.

La agroindustria de la caña de azúcar en México no ha encontrado aún el correcto diseño de la reestructuración del sector y su desempeño es muy inferior a su potencial.

Los instrumentos metodológicos empleados, durante el periodo analizado, integrando todos los factores productivos, han logrado determinar que para los ingenios considerados competitivos no hubo cambios significativos en la posición relativa de las empresas en sus indicadores de campo y fábrica. Las empresas que eran relativamente más vigorosas al inicio del período mostraron una mayor capacidad de adaptación y aumentaron la distancia que las separaba de las empresas situadas más abajo en la escala productiva, es decir, para este grupo la industria reaccionó ampliando su capacidad de producción. En este sentido, la materia prima tuvo un peso significativo en la composición del costo del producto final, y gran parte de sus atributos de calidad condicionan la competitividad del sector industrial, el consumo de energéticos refleja dificultades en el balance energético de la mayoría de las plantas industriales, el tiempo perdido incrementa el costo por Kg. de azúcar.

Los factores de producción sobre los que México basa su competitividad son la disponibilidad de materia prima al disponer de tierra cultivable de caña, el clima y la mano de obra barata. Esto implica una ventaja comparativa pero no competitiva. Por lo que la agroindustria azucarera mexicana, requiere forzosamente un modelo de desarrollo que represente los pasos que debe seguir este sistema agroindustrial para transitar de un modelo histórico estructural, a otro por medio de una transformación en sus paradigmas de competencia, con el fin de adaptarse a las nuevas condiciones del mercado.

1.13. Bibliografía.

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2010. Competitiveness and productivity of Mexico's sugar mills. *Theoria*, 19 (1): 7-30

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? *Revista Globalización competitividad y gobernabilidad* 3(1): 62-75

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 Ver. 27-28 agosto 2009.

Antony G. 2005. Industry transition and sugarcane farm households in Marlborough. Paper presented at the Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, 8-11 February 2005, Coffs Harbour 15 p.

Arellano C. P. L. 2010. Análisis de la eficiencia técnica relativa de la agroindustria azucarera: el caso de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, XIV(26): 202-213.

ASERCA 2004. Plan Rector del sistema producto caña de azúcar http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/PRector/24_SLP/AG_CanaAzucar.pdf [Consulta 30 abril de 2010].

Ayala O.A.D. 2005. México y Estados Unidos, análisis comparativo de dos crisis agrícolas Espiral, *Estudios sobre Estado y Sociedad* XII(34):125-146 p.

Ayres R.U. 1987. *La próxima revolución industrial* Edit Gernika 282 p.

- Bandaranaike S D 2005, Community Perceptions and the Future of Cane, Report to participating communities, School of Tropical Environment Studies and Geography, James Cook University, Townsville.
- Banerjee S. 2004. Determinants of International Competitiveness: A Comparative Study of the Sugar Industry in Australia, Brazil, and the European Union. Thesis for Degree of Masters in Business (Research), School of International Business, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.136 p.
- Bartra V. A. 2003. El campo mexicano ante la globalización. Universidad Autónoma de Chapingo 120 p.
- Berumen, S. A Llamazares F.R. 2007. Usefulness of multiple criteria decision methods (such as AHP) in an environment with growing competitiveness. Cuad. Adm., 20(34):65-87.
- Boucher, F y Muchnik, J. 2001. Una Visión territorial de la Agroindustria rural: Los sistemas agroalimentarios Locales – Avances conceptuales. PRODAR/IICA-CIRAD. 15 p.
- Boscolo M. 2003. Sucroquímica: síntese e potencialidades de aplicações de alguns derivados químicos de sacarose. Química nova. 26(6):906-912
- Brown F. Dominguez L. Merterns L. 2007. La importancia del capital social en la mejora de la productividad . Revista Mexicana de sociología 69(2):277-308
- Calva, J. L., 2003. El papel del campo en el proyecto de nación. en El Universal, 21 de febrero, 2003a, p. 30-A.
- Castillo Girón V.M., A. A. Aguirre J. 2005. La agenda del azúcar mexicano 1990-2003: origen y causas de la crisis financiera Carta Económica Regional. 17(92):25-40
- CNPR 2011. Estadísticas azucareras zafras 2000/2010 En: <http://www.caneros.org.mx/>
- Calva J. 2004. Ajuste estructural y TLCAN: Efectos en la agricultura mexicana y reflexiones obre el ALCA. El cotidiano, 19(124):14-22
- Calva J. 1993. La agricultura y la apertura comercial. En alternativas para el desarrollo agroindustrial compilado por Horacio Santoyo y Manrubbio Muñoz. UACH CIESTAAM, 351 p.
- Casas R. 1988. La biotecnología agrícola y agroindustrial en Mexico. Primer seminario nacional sobre la agroindustria en Mexico. compilado por Manrubbio Muñoz. UACH 3 tomos 1430 p.
- COAAZUCAR 2008. Estadísticas de la agroindustria azucarera. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/COAAZUCAR.htm>
- COLPOS. 2009. Desarrollo de un Modelo Integral de Sistema de Información Geográfica y Edáfica como Fundamento de la Agricultura de Precisión en la Caña de Azúcar en México. Etapa I. **En:** <http://www.azucar.gob.mx/index.php?portal=cania>
- COLPOS, 2003. Análisis de necesidades de investigación del sistema producto caña de Azúcar. Campus Cordoba.126 p.
- Cook, M. y M.E. Bredahl, 1991. Agribusiness Competitiveness in the 1990's: Discussion. American Journal of Agricultural Economics 73: 1472-73.
- Cordero-Salas, H. Chavarría, R. Echeverri y S. Sepúlveda 2003. Territorios rurales, competitividad y desarrollo.-- San José, C.R.: IICA, (Serie Cuadernos Técnicos / IICA, no. 23) 18 p.
- Cornland D.2001. Sugarcane Resources for Sustainable Development: A Case Study in Luena, Zambia Stockholm Environment Institute 95 p

- Cox G. 2002. A Yield Mapping System For Sugar Cane Chopper Harvesters. Doctor of Philosophy dissertation, University of Southern Queensland faculty of engineering and surveying, 245 p.
- Chiarulli, C.; Simón, M.; Machado, H.; Soto, G.; Vigil, C. J. 2003. Cambiando de rumbo. Reflexiones sobre desarrollo sustentable de las familias de pequeños productores rurales argentinos. INCUPOFUNDAPAZ-Be.Pe-Red Agroforestal Chaco-Argentina- SUR. Reconquista. Santa Fe.
- Crespo H. 1988. Historia del azúcar en México. Fondo de Cultura Económica 3 Tomos 2da edición México D.F, 1029 p.
- Domínguez R.L. 2005. Desarrollo regional y competitividad: la agroindustria azucarera de México Noesis Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, 15(27):227-250
- Dussel Peters, E. 2004. La competitividad de la industria maquiladora de exportación en Honduras. Condiciones y retos ante el CAFTA (LC/MEX/R.853) <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/8/14258/P14258.xml&xsl=/mexico/tpl/p9f.xsl&base=/mexico/tpl/top-bottom.xsl>
- Enríquez P. M. 2008. Planeación Estratégica Para la Agroindustria de la Caña de Azúcar "La Fábrica y su Diversificación" Memorias de la XXXI Convención Nacional ATAM, 9-12 septiembre Boca del Rio Ver. México, 104 p.
- Esser, K., W. Hillenbrand & J. Meyer-Stamer. 1996. Competitividad sistémica: Nuevo desafío a las empresas y a la política, Revista de la CEPAL (59): 39-52.
- Farina E.M.M. Q. 1998. Competitividad Do Sistema Agroindustrial Brasileiro Volume V, IPEA,São Paulo Julho, 1998, 72 p.
- FAO. 2006. No. 6 AZÚCAR: indicaciones de política provenientes del análisis de la reforma del sector azucarero. En: www.fao.org/trade/index_es.asp
- FAOSTAT. 2011, 2009. <http://faostat.fao.org/>
- Figueroa L. E. Brenes, 1998. Análisis de la Competitividad del Sistema Agroindustrial del Azúcar en El Salvador 37 p. En: <http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/nuestras-investigaciones/articulos/cen520.php>
- FIRA 2008. Potencial del Sector Azucarero en México, En: http://www.fira.gob.mx/SAS/Docs/InformacionSectorial/Presentaciones_de_Agronegocios/POTENCIAL%20AZUCARERO.pdf.
- Flores V. J.J., M. A. Gómez C. V. Sánchez P. M. Muñoz R. 1991. Agroindustria conceptualización y niveles de estudio Primer seminario nacional sobre la agroindustria en México. Compilado por Manrribio Muñoz. UACH 3 tomos 1430 p.
- Flores C. S. 1994. Las variedades de caña de azúcar en México. CNIAA. 308 p.
- Frohberg, K.; Hartmann, M. 1997. Comparing measures of competitiveness. Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe. Germany Discussion Paper , 2, 16 p.
- Fry J.. 1998. Competitiveness and benchmarking in the world sugar industry. http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/1990s/1998_Fry_Competiveness%20and%20benchmarking.pdf
- Fuentes A. L. 1993. Cambios en las ventajas comparativas de la producción Agrícola. Geografía y desarrollo. Año 5 3(8-9): 44-53
- FOLICHTS 2007. World sugar report 1997-2007. 372 p.

- Furtado A.T. M. I. G. Scandiffio, L. A. Barbosa 2008 Innovation system in the Brazilian sugarcane agro industry IV Globelics Conference at Mexico City, September 22-24 23 p.
- Gallagher P. 2006 The International Competitiveness of the U.S. Corn-Ethanol Industry: A Comparison with Sugar-Ethanol Processing in Brazil. *Agribusiness*, 22 (1) 109–134
- Galindo M. M.G. 2003. La reorganización económica y espacial de la agroindustria azucarera mexicana en el marco del tratado de libre comercio: problemática implicaciones y alternativas. Tesis de Doctorado en Geografía. UNAM, 372 p.
- Garay L. J. 1998. La Industria de América Latina ante la Globalización Económica". Tomo I. Colombia: Estructura Industrial e Internacionalización 1967 -1996 DNP, COLCIENCIAS.
- García Chávez Luis Ramiro. 2009. La crisis azucarera, oportunidad de desarrollo. *Revista de la Asociación de Técnicos azucareros de México*, 16(1):23-26
- García Chávez L.R. 2008. La agroindustria cañera de México "Libre comercio de edulcorantes" Universidad Autónoma Chapingo 30 p.
- García Chávez, L. R. T. H. Spreen. 2001. La agroindustria azucarera de México: reformas estructurales y sus implicaciones para el mercado de los edulcorantes, en *Estrategias para el cambio en el campo mexicano*, CIESTAAM-Plaza y Valdés, México.
- García Ch., L. 2000. La agroindustria Azucarera de México: Reformas estructurales y sus implicaciones para el mercado de los endulcolorantes, Reporte de Investigación núm. 55 CIESTAAM-UACH, Chapingo, México.
- García Ch., L. 1997. La agroindustria azucarera de México frente a la apertura comercial, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas, sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), México,.
- Graciano Da Silva 1994. Complejos agroindustriales y otros complejos. *Agricultura y Sociedad*, 72:205-240.
- Goldberg, Ray A. and Davis, John H. 1957. A concept of agribusiness. Division of Research, Graduate School of Business administration, Harvard University, Boston.
- Gutman, S. Gorenstein 2003. Territorio y sistemas agroalimentarios. Enfoques conceptuales y dinámicas recientes en la Argentina *Desarrollo económico*, 42(168): 563-588
- Gutman, G. 1998. Análisis de subsistemas agroalimentarios, Notas metodológicas. Curso de capacitación en análisis de cadenas agroalimentarias, Buenos Aires: FAO, SAGPyA. <http://www.eldis.org/assets/Docs/30605.html>
- Ha-Joon H.C. La relación entre las instituciones y el desarrollo económico. *Problemas teóricos claves*. *Revista de economía institucional* 8(14):126-136
- Hashizume, H. Hachiga, S. 2004. Analysis on Global Competitiveness of Machine Tools Industry (A Proposed Quantitative SWOT Analysis and Its Application). *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers* 70(16): 307-314
- Harris S. 2008. Particular Nature of the World Sugar Market En: <http://www.lufpig.eu/pdf/Simon%20Harris%20-%20The%20Particular%20Nature%20of%20the%20World%20Sugar%20Market.pdf>
- Helmsing A. H. J. 1999. Teorías de desarrollo industrial regional y políticas de segunda y tercera generación *Revista eure* XXV(75):5-39

- Hernández G.R. 2006. Análisis de la competitividad y productividad de las ramas y subramas de la agroindustria en México 1994-2004. Tesis profesional Departamento de Ingeniería agroindustrial, UACH. 102 p.
- Hernández L. E. 1992. Productividad y eficiencia en la agroindustria azucarera Mexicana. UAM, Primera edición México D.F. 204 p.
- Hillebrand, W.; Messner, D., Meyer S, J. 1994. Competitividad sistémica. Competitividad internacional de las empresas y políticas requeridas. Instituto Alemán de Desarrollo, Berlín.
- Ibáñez, C. 2000. Algunas teorías e instrumentos para el análisis de la competitividad , Cuadernos técnicos No. 15, IICA, San José, Costa Rica. 74 p.
- International Sugar Organization 2007. Statistical bulletin 2007. London, The United Kingdom 66(12):80.
- 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.
- LMC International and Oxford Policy Management 2003. Addressing the Impact of Preference Erosion in Sugar on Developing Countries', Report for DFID, Oxford.
- LMC International 1997, A World Survey of Sugar and HFCS Field, Factory and Freight Costs. 1997 Report,.
- INEGI. Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos 2000 al 2010
- James G, 2004. Sugarcane. 2da edition. Blackwell Science Ltd 224 p.
- Lichtenthaler F.W.,. Peters S, C. 2004. Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. C. R. Académie des sciences. Published by Elsevier SAS Chimie 7:65–90.
- López Macías y Castrillón F. 2007. Teoría económica y algunas experiencias latinoamericanas relativas a la agroindustria, En: www.eumed.net/libros/2007b/304/
- Lora S. J.E., 2004. Consideraciones sobre el pensamiento administrativo de Porter y de Senge. Revista escuela de administración de negocios 50:40-53
- Lotero C.J. 2005. La competitividad una aproximación conceptual. No. 13 Centro de Investigaciones económicas Medellín Colombia 28 p.
- Luna G, C.A.; Cock, J.H.; Palma, A.E.; Diaz, L.V.; Moreno, C.A. 1995. Análisis de la productividad en la agroindustria azucarera de Colombia y perspectivas para aumentarla. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, p.373-394
- Kogut, B. 1985, Designing Global Strategies: Comparative and Competitive Value-Added Chains, Sloan Management Review 6(4):15-28.
- Machado, A. 2002. El concepto de estructura agraria, De la estructura agraria al sistema agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia, 336 p.
- Martínez B.J.A. E.R. Saucedo (1998) Características de los ingenios azucareros de México y su competitividad con la isoglucosa. Tesis de Ingeniero Agroindustrial UACH. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, 115 p.
- Mertens Leonard. 2008. Hacia el trabajo decente en el sector del azúcar, México Documento de trabajo núm. 259. Organización Internacional del Trabajo; Oficina Internacional del Trabajo Ginebra Suiza, 83 p.
- Manual Azucarero Mexicano Ediciones 2000 al 2011. Editado por CNIAA

- Martín, C. 1993. Principales enfoques en el análisis de la competitividad. Papeles de Economía Española, 56:2-13.
- Medwid B. 2008. Mitos y realidades de la pobreza y el Mercosur. El caso de la industria azucarera en Tucumán. <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/clacso/crop/cimada/Medwid.pdf>
- Merchand M.A. 2005. La dinámica transnacional de la agroindustria del limón y su hinterland agrícola en el Valle de Tecmán. *Análisis Económico* 44(XX): 215-248
- Montegut s. L. 2006. Análisis de los factores explicativos del éxito competitivo en las almazaras cooperativas catalanas. Tesis doctoral Departament d'Administració d'Empreses i Gestió Econòmica dels Recursos Naturals Universitat de Lleida Facultat de Dret i Economia 416 p.
- Muñoz M. 1993. La agroindustria en México, problemas y perspectivas. En alternativas para el desarrollo agroindustrial compilado por Horacio Santoyo y Manrubio Muñoz. UACH CIESTAAM, 351 p.
- Nayamuth R. 2003. increasing sugar productivity within the context of centralisation, strategic options Mauritius Sugar Industry Research Institute: annual report 2003 En: <http://www.msiri.mu/>
- Neves M.F. Conejero M.A. 2007. Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica *Econ. Aplic.*, 11(4): 587-604
- North, D. 1994. Economic performance through time. *The American Economic Review*. 84(3):359-368).
- Olivares G. C. 2004. Situación actual de la agroindustria azucarera mexicana ¿expropiación o rescate?. Tesis de maestría en sociología. UAM. 82 p.
- Paños Á. 1999, reflexiones sobre el papel de la información como recurso competitivo de la empresa Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. *Anales de documentación* 2:21-38
- Pérez Z.A. 2007. Tenencia de la tierra e industria azucarera. Edit. Porrúa, México 214 p
- Porter M. 2008. Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. *Harvard Business Review*. 86(1): 58-77
- Porter M. 2005. ¿Qué es la competitividad? Apuntes de Globalización y Estrategia (IESE Business School, Universidad de Navarra), 1(1):1-8
- Porter, M. 1991. La ventaja competitiva de las naciones, Javier Vergara Editor, Buenos Aires, 1025 p.
- Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar PRONAC 2007. en: <http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/discursos/2007/abril/Pronac.pdf>
- Ovando C. 2006. Caracterización y evaluación de la miel final de ocho ingenios guatemaltecos durante la Zafra 2004-2005 Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2004 – 2005 Recuperación de Sacarosa, CENGICANA 164-175 p
- Ramankutty N, Evan A T, Monfreda C and Foley J A 2008 Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000 *Global Biogeochem. Cycles* 22: http://landuse.geog.mcgill.ca/pub/papers/Ramankutty_etal_2008_GBC.pdf
- Rappo S. 2002. ¿La expropiación azucarera resuelve la crisis? Nuevos y viejos conflictos *Revista Aportes de la facultad de economía BUAP* 7(19):107-132
- Record R., 2005. A Study into the Impact of the EU Sugar Reforms on Malaw. Ministry of Trade and Private Sector Development Government of Malawi 20 p.
- Ríos L. 2008. Mercado Mundial de Azúcar Visión global. *Cultivos industriales* 8(10):129-134

- Rivera R.H.A. 2003. La competitividad y la gestión empresarial. Revista escuela de administración de negocios 48 :132-143
- Riveros H. 2001. Agroindustria rural: Conceptos, características y oportunidades" II Curso Internacional La Promoción de la Agroempresa Rural para el Desarrollo Microregional Sostenible, Centro Internacional de Agricultura Tropical En: http://www.ciat.cgiar.org/webciat/agroempresas/espanol/Rec_de_info/memoriasiicurs/cd_curso/Contenido/Modulo%201/modulo%201.htm
- Romero J., A. Puyana 2005. Apertura comercial, productividad y competitividad, la experiencia de México de 1980 a 2000. Investigación económica, LXIV (252): 63-121
- SAGARPA. 2007. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (México DF, SAGARPA).
- Sánchez U.R. 2003. Impactos de la crisis azucarera en las unidades de producción cañera. Tesis de maestro en ciencias en estrategias para el desarrollo rural. Colegio de Posgraduados Campus Puebla. 161 p.
- Sánchez Sandoval Jorge. 2002. La competitividad azucarera de Sinaloa http://mochis.udo.mx/revista/pub_mayo_ago/LA_COMPETITIVIDAD_AZUCARERA_DE_SINALOA.pdf
- Sarria, A Solano y T R Preston 1990. Livestock Research For Rural Development <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd2/2/sarria.htm>
- Seebaluck, R. 2008. Bioenergy for Sustainable Development and Global Competitiveness: the case of Sugar Cane in Southern Africa. Cane Resources Network for Southern Africa (CARENESA) 104 p.
- Serunkuma S. and H. R. Kimera 2006. Impact of EU Sugar Trade on Developing Countries En: <http://www.germanwatch.org/tw/zu-afr06.htm>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2009 en: <http://www.azucar.gob.mx/index.php?portal=cania>
- Singh,G.B. and Solomon,S. 1995. Sugarcane: Agro-Industrial Alternatives. Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi. 543 p
- Sistema de Información Agropecuaria SIAP. 2009. Padrón De Productores De Caña De Azúcar (Zafra 2006-2007). Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación SAGARPA.
- Sharples, J. Y N. Nilham, 1990. Long-Run Competitiveness of Australian Agriculture, United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Foreign Agricultural Economics Report No 243.
- Shinno H, H Yoshioka 2006. Quantitative SWOT analysis on global competitiveness of machine tool industry. Journal of Engineering Design, 17(3): 251-258
- Singelmann, P y Otero. 2003. La transformación política de México. y los gremios cañeros del PRI. Revista mexicana de sociología 65(1): 117-152
- Sobrino J. 2002. Competitividad y ventajas competitivas. Estudios demográficos y urbanos, El Colegio de México 50: 311-361
- Solleiro J. Castañón R.H. 2008. Gestión de la innovación tecnológica en pymes agroindustriales chihuahuenses. Revista mexicana de agro negocios. Cuarta Época. XII(23): 681-694
- Solleiro, J. 2005. Competitiveness and Innovation Systems: the Challenges for Mexico's Insertion in the Global Context. Technovation, 25:1059-1070
- Solleiro J.L. 1993. Desarrollo tecnológico en la agroindustria. Alternativas para el desarrollo agroindustrial. Compilado por Horacio Santoyo Cortes y Manrubio Muñoz Rodríguez, UACH-CIESTAAM 1era edicion Mexico 351 p.

- Vargas H. A. 2008. Análisis crítico de las teorías del desarrollo. Econ. Gest. Desarro. Cali (Colombia) 6: 109-131
- Van den Wall Bake J.D. 2006. Cane as key in Brazilian ethanol industry 'Understanding cost reductions through an experience curve approach. Master Thesis Nature Science & Innovation management Energy and Materials. Utrecht University 83 p.
- Trendle B, G. Shorney 2003. The effect of industrial diversification on regional economic performance Australasian Journal of Regional Studies, 9(3):355- 369
- Trujillo M. E. L. R. García Chávez. 2002. Eficiencia en la agroindustria azucarera mexicana en las etapas pública y privada. Prospectiva Económica 1(1):137-151
- Westgren, R.; Martin, L.; Van Duren, E. 1991. Measurement of competitiveness among agribusiness sectors across National Boundaries *American Journal of Agricultural Economics*, 73(5):1456-1464
- ZAFRANET 2009. Estadísticas azucareras. En: <http://www.zafranet.com/>
- Zhao Weilin, Chihiro Watanabe. 2008. An Exploration of Competitive Advantages in An Industry Cluster within Local Institutional Systems : The case of Dalian Software Park in China 年次學術大會講演要旨集, 23: 890-893 En: <https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/bitstream/10119/7706/1/890.pdf>
- Zerega L.1998. Efecto del nitrógeno orgánico y mineral sobre el rendimiento de la caña de azúcar Bioagro 10(3): 63-67
- Zérega, I. 1994. Manejo de suelos y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar. Fundación Azucarera para la investigación y la productividad. Venezuela. Boletín N° 10, 23 p.
- Zermeño F. 1996. La agricultura ante la apertura comercial y el TLC. En la agricultura mexicana y la apertura comercial Coordinado por Antonieta Barron y J.M. Trujillo México 293 p.
- Zimmermann B and Jürgen Zeddies 2002. International competitiveness of sugar production. 13th International Farm Management Congress, Wageningen, The Netherlands, July 7-12, 2002 Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart

2. Análisis de factores de competitividad en la zona cañera de la Huasteca Potosina México por técnicas geomáticas

2.1. Introducción

La agroindustria de la caña de azúcar, es un sector productivo que ha funcionado al comercializar un solo producto, la sacarosa o azúcar de mesa; como resultado de operaciones unitarias de proceso en una factoría denominada ingenio azucarero que procesa una única materia prima, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), procedente de un monocultivo. Y en segundo lugar, se tiene un sector productivo alternativo, la producción de panela, piloncillo o pilón en una instalación denominada trapiche. Los productores de caña de azúcar, de ambos sistemas productivos, continúan buscando formas de reducir costos, aumentar la productividad y los rendimientos, es decir, la capacidad de producir caña y sacarosa está determinada por las características genéticas de la variedad; sin embargo, también estos dos aspectos son el resultado final de la interacción entre la planta, el clima, el suelo y el manejo que se le proporcione al cultivo.

En el estado de San Luis Potosí, específicamente en la región “*Huasteca Potosina*” la superficie de cultivo de caña de azúcar para ingenios azucareros registra la mayor tasa media anual de crecimiento con 3.1% en el periodo 1998 – 2008 (SIAP, 2009) con respecto a otras regiones productoras. Esta región se ubica a la parte oriental del estado, entre los 19° 51’ y 21° 34’ latitud N y 15° 54’ y 116° 56’ longitud W, en la región de barlovento de la Sierra Madre Oriental. Se define por ser el límite boreal de las selvas mexicanas y presentar la línea divisoria entre Aridoamérica y Mesoamérica. Conforman dos subcuencas hidrográficas (Ríos Valles y Moctezuma). Estas características han permitido el desarrollo de actividades agropecuarias, sobre todo la referente al cultivo de caña de azúcar (Galindo, 2009). Constituye el principal cultivo perenne y agroindustrial detrás del maíz blanco para consumo humano y de los pastos de gramíneas para el ganado (Figura 2.1).

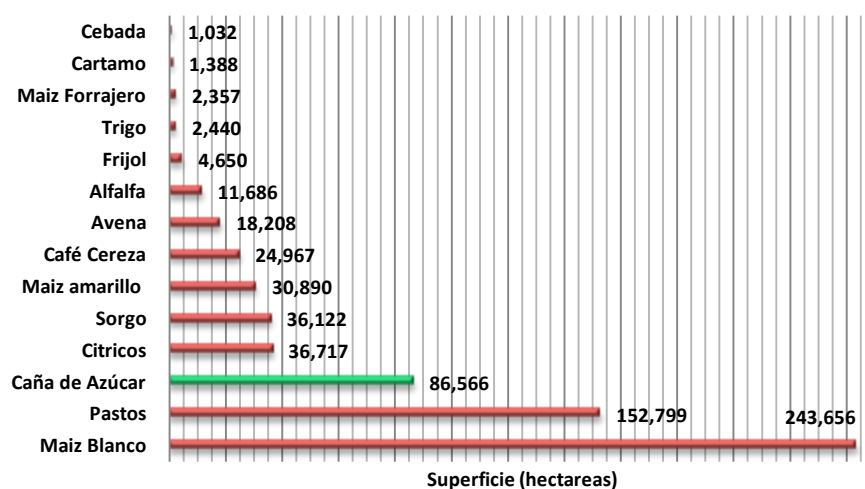


Figura 2.1. Inventario de cultivos en la Huasteca Potosina (INEGI, 2007)

Sin embargo, actualmente a nivel nacional, presenta una productividad, en los indicadores del sector azucarero, de media a baja, en relación con el resto de los estados productores (Figura 2.2).

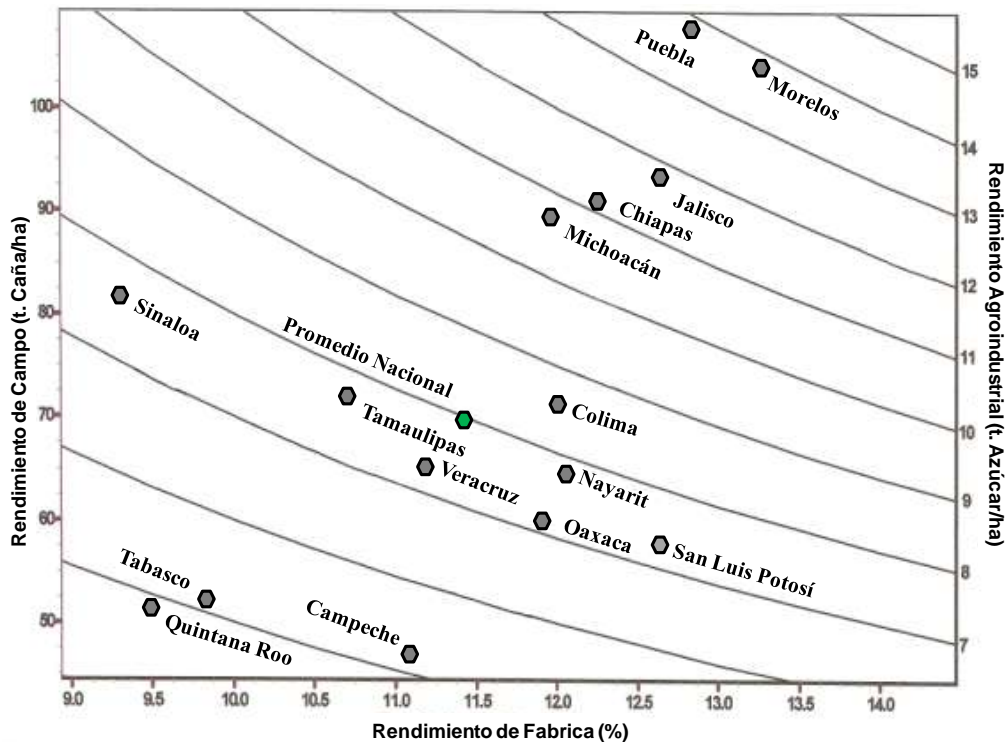


Figura 2.2. Diagrama de productividad de los estados cañeros en México (elaborado con datos del CNIAA, 2010 y la metodología de CENICAÑA, 1995)

Como cultivo está presente en 11 municipios (Cuadro 2.1)

Cuadro 2.1. Producción cañera en la Huasteca (SIAP, 2009)

Municipio	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)
Aquismón	2,410.00	115,139.00
Ciudad Valles	33,787.00	1,724,700.00
El Naranjo	11,008.00	633,900.00
San Vicente Tancuayalab	2,600.00	221,000.00
Tamasopo	12,920.00	765,161.70
Tampamolón	321.28	10,752.00
Tamuín	2,603.00	263,830.00
Tancanhuitz de Santos	418	23,430.00
Tanlajás	1,179.00	61,075.00
Estado de San Luis Potosí	68,669	3,503,863

En estos municipios, las regiones cañeras se localizan preferentemente en zonas de piedemonte y llanura donde existen dos tipos de productores con base en el destino mayoritario de la producción primaria: 1) Productores para azúcar de mesa (industria azucarera) los cuales tienen convenios con la industria del azúcar representada por los cuatro ingenios del estado: Alianza Popular y Plan de Ayala (Grupo Santos), San Miguel El

Naranja (Grupo Beta San Miguel) y Plan de San Luis del Fondo de Empresas Expropiadas del Sector AZucarero de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA-FEESA) los cuales se dedican a la fabricación de azúcar crudo, y melaza como principal subproducto; y que presentan diversos indicadores operativos (Cuadros 2.2 y 2.3) 2) Productores libres o independientes sin contratos fijos para la entrega de caña para ingenios y/o trapiches (Figuras 2.3 a 2.5).

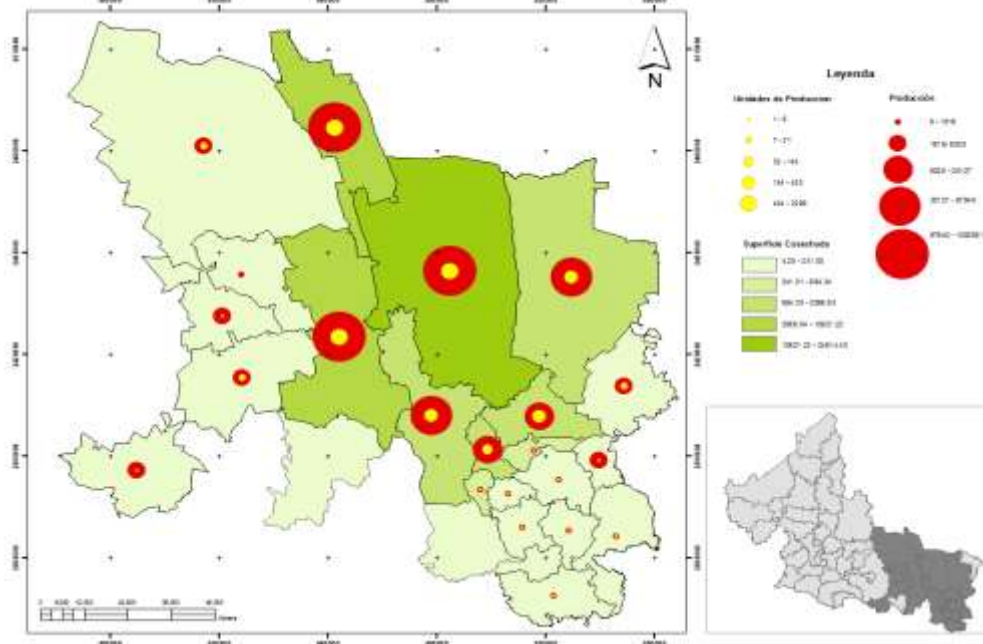


Figura 2.3. Municipios con actividad cañera con destino a los ingenios azucareros (construido con datos de SIAP, 2009).

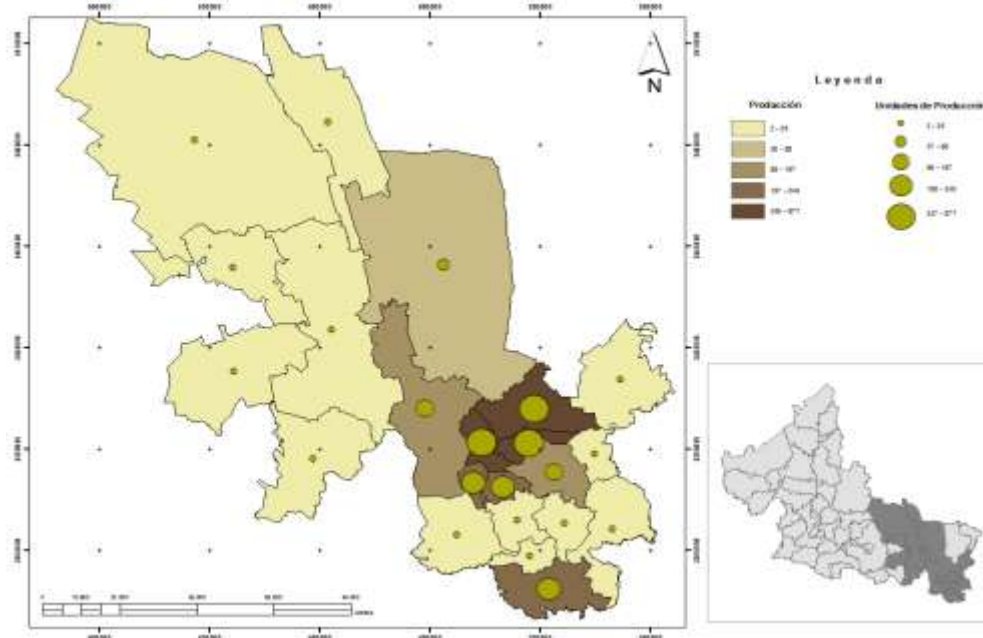


Figura 2.4. Municipios con actividad cañera con destino a los trapiches piloncilleros (construido con datos de SIAP, 2009).

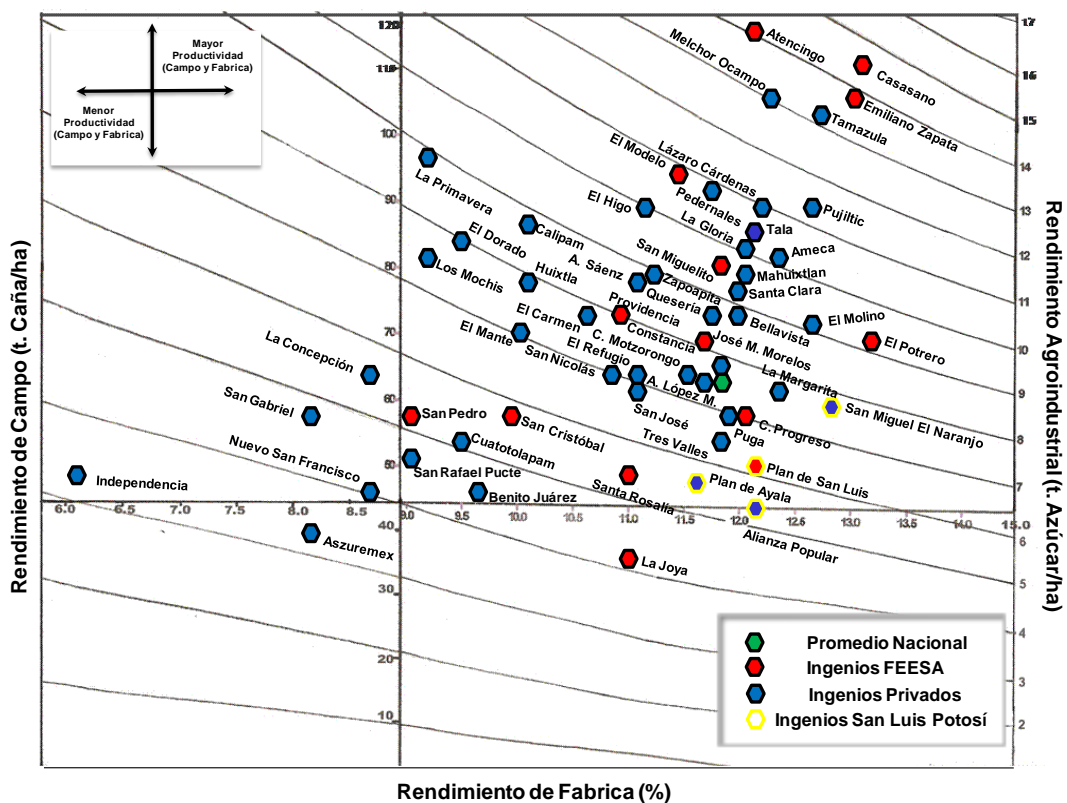


Figura 2.5. Diagrama de productividad (promedio de las zafras 2000 a 2010) de los ingenios azucareros en México (Elaborado con datos del CNIAA 2001-2010 y la metodología de CENICAÑA, 1995)

Cuadro 2.2. Indicadores productivos de los ingenios azucareros de la Huasteca Potosina (CNIAA, 2010)

Factor de productividad	San Miguel El Naranjo	Plan de San Luis	Alianza Popular	Plan de Ayala
Caña molida (t)	ACEPTABLE	REGULAR	REGULAR	REGULAR
Rendimiento de campo (t caña/ha)	MINIMO	BAJO	BAJO	BAJO
Azúcar producida (t)	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE
Rendimiento agroindustrial (t azúcar/ha)	MINIMO	BAJO	BAJO	BAJO
Rendimiento de Fábrica (%)	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	REGULAR
Sacarosa en caña (%)	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	ACEPTABLE
Pérdidas totales de Sacarosa (%)	MINIMO	MINIMO	REGULAR	REGULAR
Consumo de petróleo (L/ t. azúcar.)	EXCELENTE	REGULAR	BUENO	REGULAR
Eficiencia de Fábrica (%)	MINIMO	MINIMO	REGULAR	MINIMO
Tiempos Perdidos (%)	REGULAR	ACEPTABLE	REGULAR	BUENO

Cuadro 2.3. Indicadores productivos de ingenios azucareros (Ahumada, 2009)

Factor de productividad	EXCELENTE	BUENO	ACEPTABLE	REGULAR	MINIMO	BAJO
Caña molida (t)	> 1,500,000	1.2 a 1,499,000	1.0 a 1,199,000	0.8 a 0.999 MT	0.6 a 0.799 MT	< de 600,000
Rendimiento de campo (t caña/ha)	> 100	90 a 99.9	80 a 89.9	70 a 79.9	60 a 69.9	< de 60
Azúcar producida (t)	> de 150,000	100 a 150,000	80 a 100,000	60 a 80,000	40 a 60,000	< de 40,000
Rendimiento agroindustrial (t azúcar/ha)	> de 12.5	11.1 a 12.49	9.5 a 11	8.5 a 9.49	7.5 a 8.5	< de 7.5
Rendimiento de fábrica (%)	> de 12.50	12.01 a 12.49	11.51 a 12.00	11.01 a 11.50	10.01 a 11.00	< de 10.0
Sacarosa en caña (%)	> de 14.500	14.0 a 14.49	13.5 a 13.99	13.0 a 13.49	12.00 a 12.99	< de 12.0
Pérdidas totales de sacarosa (%)	< de 2.000	2 a 2.20	2.21 a 2.40	2.4 a 2.7	2.7 a 2.99 %	> de 2.900
Consumo de petróleo (L/t. azúcar.)	< de 10	10 a 50	50 a 75	75.1 a 100	100.1 a 200	> de 200
Eficiencia de fábrica (%)	> de 85	84 a 84.99	83 a 83.99	82 a 82.99	80.1 a 81.99	< de 80.0
Tiempos perdidos (%)	< de 5	5.1 a 8	8.1 a 10.0	10.1 a 12.0	12.1 a 15.0	> 15.00

Por lo tanto, en la Huasteca Potosina, el sector fábrica de azúcar, en un contexto de análisis de procesos industriales, presenta indicadores aceptables, sin embargo, el sector primario de la industria azucarera (la actividad agrícola de la caña de azúcar y base material de la producción azucarera), se caracteriza por bajos indicadores productivos y de rentabilidad reportados por las distintas bases de datos del sector (CNIAA, 2010, CNPR, 2009, PRONAC, 2007) para esta zona productora a nivel nacional (alta superficie cultivada, minifundio, bajos rendimientos). Por lo anterior, es necesario analizar los factores limitantes de la productividad del cultivo, y los factores geoeconómicos mediante metodologías que permitan establecer la relación a nivel espacial y temporal entre las variables que caracterizan los niveles de productividad en la Huasteca Potosina; esto permitirá establecer regionalizaciones como el trabajo previo de la década de 1970 de Bassols (1977) o bien zonificaciones y/o lotificaciones para determinar futuras recomendaciones para la supervivencia de la agroindustria en esta región, ya que la producción de azúcar en los ingenios depende de la cantidad de materia prima disponible, la cual, a su vez, está limitada por el área sembrada, la productividad agrícola y el total de azúcar recuperable. De estos tres factores, el más complejo es la productividad de la caña de azúcar, pues depende de una serie de factores relacionados con aspectos agronómicos y meteorológicos; es decir, el futuro de la agroindustria azucarera sigue estando en el campo y lo que en él se pueda producir.

Para evitar depender de la información subjetiva derivada sólo de las estadísticas del sector (y de las limitaciones de los indicadores que tradicionalmente se han utilizado para destacar la importancia regional y/o sectorial de la caña de azúcar), y tomar decisiones inmediatas, evitar la acción especulativa e intervenir favorablemente en el manejo de los factores controlables de la producción cañera, se requiere recopilar la mayor cantidad de información en forma sistemática y ordenada. Esta información forma un historial, el cual ayuda en la evaluación y planeación del manejo del cultivo (Hajj, 2009).

En este contexto, la efectividad técnico-económica de la zafra (cosecha de caña) tiene como premisa la existencia de volúmenes de caña que permitan un suministro estable a la industria (materia prima disponible para molienda), cuya capacidad debe utilizarse en la mayor medida posible. Para elaborar la programación de la zafra (corrida de campo) (Figura 2.6) se necesita la proyección de los valores estimados de producción de caña, y del aprovechamiento de la capacidad industrial; estos dos elementos, junto al número total de días de la zafra, conforman el balance agroindustrial cañero. Sin embargo, como el objetivo de la zafra no es moler caña, sino extraer azúcar, también se requiere la proyección del rendimiento industrial

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
2	CORRIDA SEMANAL DE CAMPO				INGENIO X				SEMANA No. 10-03		
3									AL 07-03-03		
5	CONCEPTOS				CONCEPTOS				REAL		
6									SEMANA ACUMULADO		
7	OPERACION DE COSECHA ZAFRA 2009/10				OPERACION DE COSECHA ZAFRA 2009/10						
8		CAÑA CONTRATADA CORTE MANUAL, ton	0,0	0,0		TIEMPO DE ZAFRA, hr	0,00	0,00			
9		CAÑA CONTRATADA COSECHA MEC, ton	0,0	0,0		TIEMPO PERDIDO CAMPO, hr	0,00	0,00			
10		CAÑA DE OTROS INGENIOS, ton	0,0	0,0		TIEMPO PERDIDO LLUVIA, hr	0,00	0,00			
11		CAÑA LIBRE (NO CONTRATADA), ton	0,0	0,0		SACAROSA : CAÑA PROGRAMA LAB CAMPO	0,000	0,000			
12	BALANCE DE CAÑA COSECHADA Y DE MOLIENDA	CAÑA MOLIDA TOTAL, ton	0,0	0,0	PARAMETROS DE RELACION CAMPO FABRICA	SACAROSA : CAÑA CORRIDA DE FABRICA	0,000	0,000			
13		CAÑA UTILIZADA PARA SEMILLA, ton	0,0	0,0		PERDIDA DE COSECHAMIENTO, %	0,000	0,000			
14		CAÑA ENVIADA A OTROS INGENIOS, ton	0,0	0,0		FIBRA : CAÑA LABORATORIO CAMPO	0,000	0,000			
15		CAÑA DESTINADA A OTROS FINES, ton	0,0	0,0		FIBRA : CAÑA CORRIDA DE FABRICA	0,000	0,000			
16		TOTAL CAÑA COSECHADA, ton	0,0	0,0		PUREZA JUGO MEZCLADO, %	0,000	0,000			
17		TOTAL CAÑA COSECHADA, L³	0,0	0,0		KARBE CAÑA META	0,000	0,000			
18		CAÑA MOLIDA NO PROGRAMADA, ton	0,0	0,0		KABE CAÑA META	0,000	0,000			
19		CAÑA CRUDA, ton	0,0	0,0		MUESTREO IMPUREZAS, % PONDERADO	0,000	0,000			
20	FRESCURA DE LA CAÑA HOLIDA	DE 00:00 a 24:00 harar, ton	0,0	0,0		IMPUREZAS, % APLICADO PONDERADO	0,000	0,000			
21		DE 24:01 a 48:00 harar, ton	0,0	0,0		LABORES BASICAS, L³					
22		DE : de 48:00 harar, ton	0,0	0,0		SIEMBRA TOTAL	0,00	0,00			
23		PROMEDIO PONDERADO, L³	0,00	0,00		AVANCE DE LABORES PLANTA 2009/10	FERTILIZACION	0,00	0,00		
24		CORTE MANUAL, \$	0	0			CULTIVOS	0,00	0,00		
25		ALCE MANUAL Y MECANICO, \$	0	0			LIMPIAS (CONTROL DE MALEZAS)	0,00	0,00		
26		COSECHA MECANICA, \$	0	0			RIEGOS	0,00	0,00		
27	COSTOS DIRECTOS DE COSECHA	TRANSPORTE, \$	0	0			SUP CORTES TERMINADOS ZAFRA 2009/09	0,00	0,00		
28		ADMINISTRACION, \$	0	0			SUP VOLTEO DE CEPAS ZAFRA 2009/09	0,00	0,00		
29		SUMA PARCIAL, \$ TOTAL	0	0			AVANCE DE LABORES PLANTA Y RESOCS 2009/10	FERTILIZACION	0,00	0,00	
30		TONELADAS PAGADAS	0,0	0,0				CULTIVOS	0,00	0,00	
31		PROMEDIO DE COSTO, \$/ton	0,00	0,00				LIMPIAS (CONTROL DE MALEZAS)	0,00	0,00	
32		CAMINOS GENERALES Y PARCELARIOS, \$	0,0	0,0				RIEGOS	0,00	0,00	
33		CONTRATACION Y ATENCION CORTADORES, \$	0,0	0,0				SIEMBRA TOTAL	0,00	0,00	
34		GASTOS EXTRAORDINARIOS DE COSECHA, \$	0,0	0,0				FERTILIZACION	0,00	0,00	
35	GASTOS DISTRIBUIDOS CON CARGO A LA ZAFRA	GASTOS FRENDES DE COSECHA, \$	0,0	0,0				CULTIVOS	0,00	0,00	
36		COMITE DE PROD Y CALIDAD CAÑERA, \$	0,0	0,0				LIMPIAS (CONTROL DE MALEZAS)	0,00	0,00	
37		DESPENSAS Y BECAS, \$	0,0	0,0				RIEGOS	0,00	0,00	
38		AGRUPACIONES CAÑERAS LOCALES, \$	0,0	0,0				SUP CORTES TERMINADOS ZAFRA 2009/10	0,00	0,00	
39		AGRUPACIONES CAÑERAS NACIONALES, \$	0,0	0,0				SUP VOLTEO DE CEPAS ZAFRA 2009/10	0,00	0,00	
40		SUMA PARCIAL, \$ TOTAL	0,0	0,0				FERTILIZACION	0,00	0,00	
41		PROMEDIO DE GASTO, \$/ton	0,00	0,00				CULTIVOS	0,00	0,00	
42		CORTADORES	0	0				LIMPIAS (CONTROL DE MALEZAS)	0,00	0,00	
43		CAMIONES	0	0				RIEGOS	0,00	0,00	
44		ALZADORAS	0	0				CLIMATOLOGIA			
45		COSECHADORAS	0	0				CONCEPTOS	SEMANA	EN EL AÑO	EN LA ZAFRA
46		CARRETAS Y REMOLQUES	0	0				PRECIPITACION Lluvía REGISTRADA mm	0,00	0,00	0,00
47		FRENDES DE COSECHA	0	0				TEMPERATURA MEDIA 05:00 hr	0,00	0,00	0,00
48		PROMEDIO ton/CORTADOR/DIA	0,00	0,00				SUPERFICIE AFECTADA POR INUNDACIONES	0,00	0,00	0,00
49		PROMEDIO ton/COSECHADORA/DIA	0,00	0,00				SUPERFICIE AFECTADA POR HELADAS	0,00	0,00	0,00

Figura 2.6. Corrida de campo (Nieves, 2011)

Es decir, la determinación en forma anticipada de la superficie y producción de caña de azúcar, en las zonas de abasto de los ingenios azucareros, no puede basarse en situaciones estáticas o promedio ya que las variadas condiciones ambientales y prácticas de cultivo pueden influir en la productividad. Sin embargo, las estadísticas cañeras (rendimiento de campo), como componentes de los sistemas de información agrícola de los ingenios, son el único valor de referencia que se toma actualmente como representante de la realidad y en los procesos de toma de decisiones para definir zonas de alta, media o baja productividad, sin considerar la variabilidad espacial y los factores limitantes (Figura 2.7)

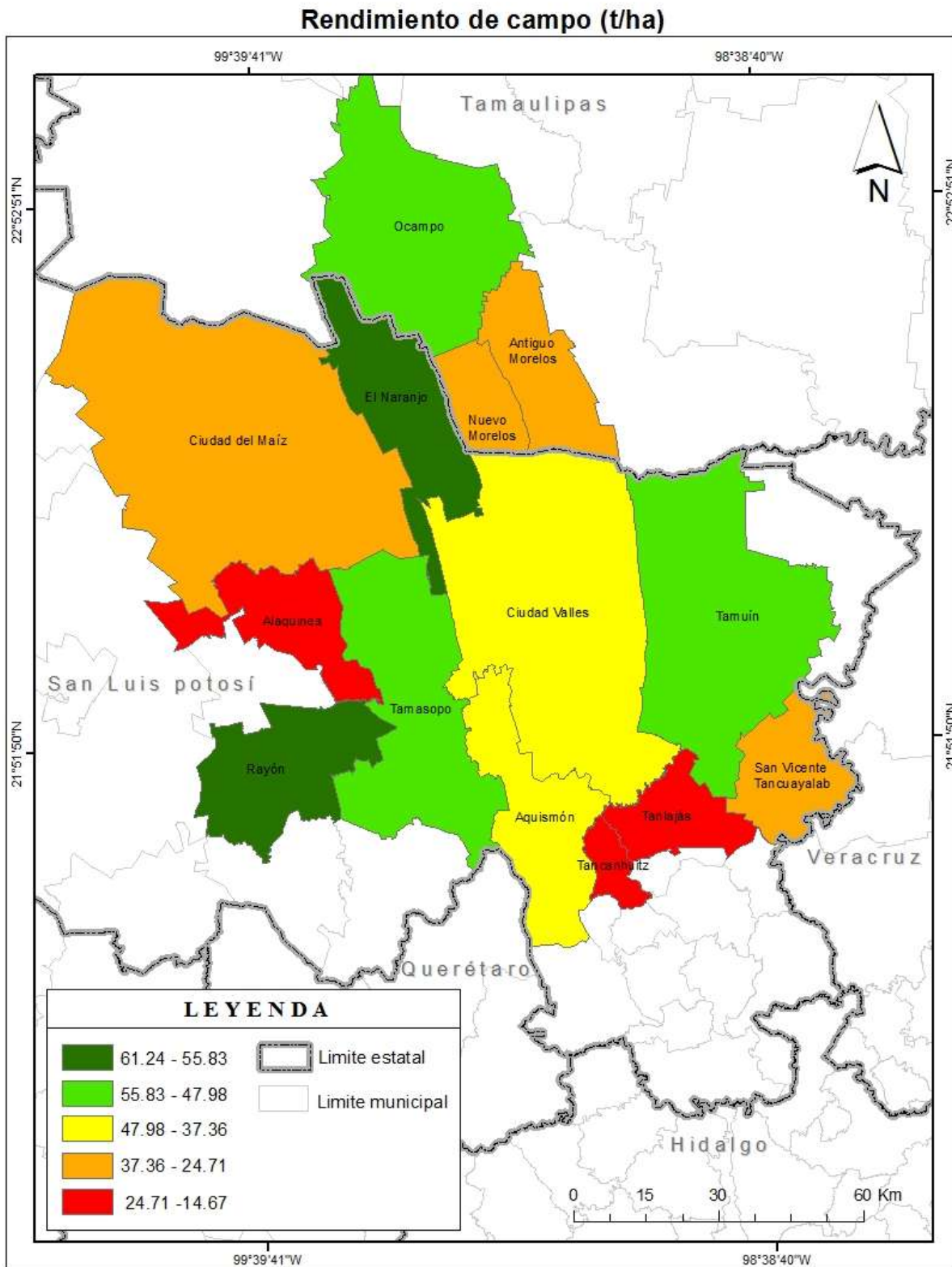


Figura 2.7. Productividad de la zona cañera de la Huasteca Potosina (Rendimiento de campo t/ha)

2.2. Factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar

La caña de azúcar es una de las especies de plantas terrestres más productivas, con alta producción de hojas y de tallos (caña integral) que en su madurez tiene la mitad de su biomasa en forma de fibra y azúcares. Potencialmente la caña puede producir, en total alrededor de 45 t de masa seca año ha⁻¹; la parte aérea puede producir hasta 22 t azúcar año ha⁻¹. (Moore y Maretzki, 1996)

La caña de azúcar, más que un cultivo y una actividad empresarial, ha representado toda una cultura para México, en virtud de que su presencia ha sido muy amplia e intensa desde el siglo XVI cuando ingresó al territorio nacional procedente de Cuba; la caña ha acompañado a los procesos de colonización y desarrollo del país, y son muchas las formas y manifestaciones a través de las cuales esa planta y sus subproductos han intervenido en el quehacer del pueblo mexicano.

Cada una de las regiones cañeras de México posee características y condiciones productivas singulares que hacen que el potencial productivo, la expectativa de rendimientos agroindustriales y los costos de producción involucrados varíen significativamente.

Las variedades comerciales de caña de azúcar son híbridos interespecíficos, principalmente de *Saccharum officinarum* L., *S. spontaneum* L y *S. robustum*. La acumulación de sacarosa en el tallo depende, además de la herencia (21 % *S. officinarum* L, 10 % *S. robustum* y 6 % *S. spontaneum* L), a factores morfológicos, enzimáticos, ambientales, disponibilidad de agua e incidencia de enfermedades. Los tallos con alta concentración de sacarosa tienen mayor contenido de humedad y menos fibra; además su epidermis es más gruesa y tienen mayor peso fresco (Miceli, 2002). Sin embargo, la respuesta agro-productiva del cultivo difiere según las condiciones de manejo, la región climática, el tipo de suelo, la variedad y otros factores (Yang, 1997). Por ello, resulta importante estudiar estas diferencias a fin de establecer las estrategias de regionalización de variedades y tecnologías con un fundamento científico y sobre bases sostenibles. En este sentido, la caña de azúcar posee un periodo vegetativo muy variable, cuya duración depende básicamente de las características del material genético utilizado, y también de la influencia que el clima ejerce en este proceso biológico (Hunsigi, 2001).

La caña de azúcar tiene esencialmente cuatro fases de crecimiento: a) fase de establecimiento; la cual implica germinación y emergencia, ya sea en plantación (plantillas) o en rebrote (socas y resocas) de los cuales crecerán nuevos tallos (amacollado); b) fase de ahijamiento, formativa o reposo fisiológico; c) fase de crecimiento rápido; y c) fase de maduración y cosecha (FAO, 2009, Humbert, 1974) (Figura 2.8).

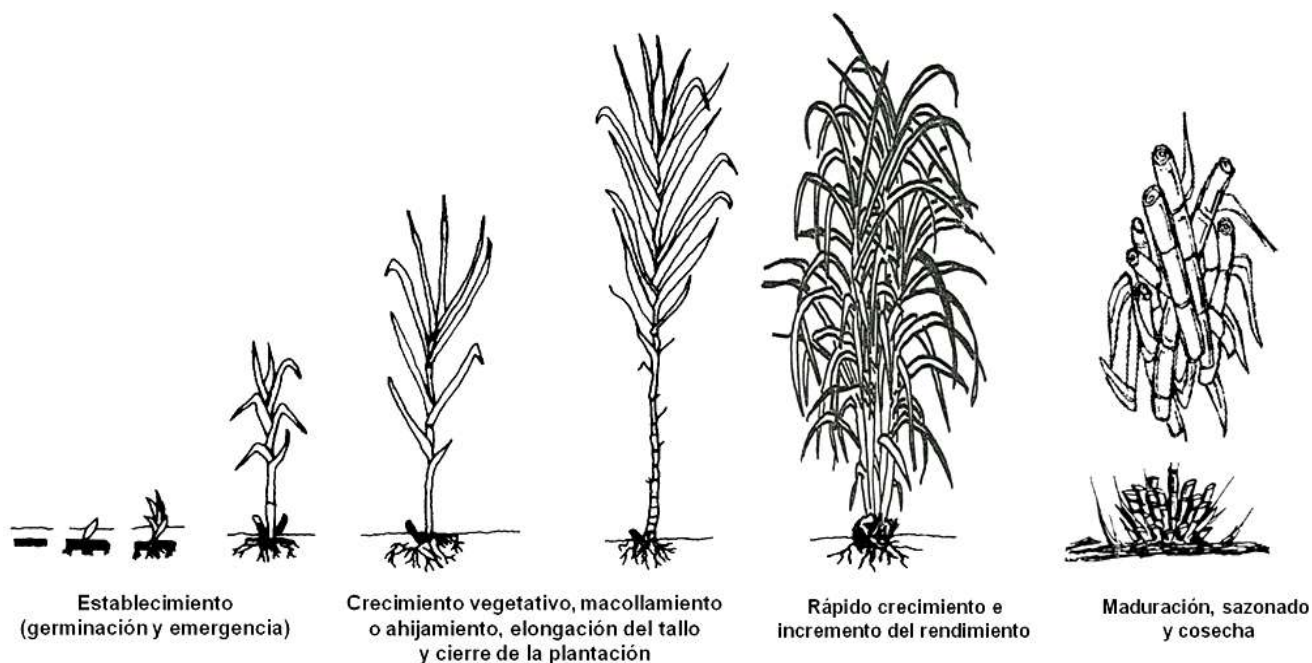


Figura 2.8. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar (Benvenuti, 2005)

1. Establecimiento (germinación y emergencia 30 - 50 días). La germinación se refiere a la iniciación del crecimiento a partir de las yemas presentes en los tallos plantados o en los que quedan en pie después de la cosecha del cultivo anterior. Durante esta fase es necesaria la disponibilidad adecuada de agua y el control de malezas. El déficit hídrico tiene un impacto significativo sobre el rendimiento de azúcar ya que propicia la reducción de la densidad de población de adultos debido al nuevo e insuficiente sistema de raíces pequeñas y poco profundas (Barbieri, 1993).

La germinación de las yemas es influenciada por factores externos e internos. Los factores externos son la humedad, la temperatura y la aireación del suelo. Los factores internos son la sanidad de la yema, la humedad del esqueje, el contenido de azúcar reductor del esqueje y su estado nutricional.

La germinación produce una mayor respiración y por eso, es importante tener una buena aireación del suelo. Por esta razón, los suelos abiertos, bien estructurados y porosos permiten una mejor germinación. Bajo condiciones de campo, una germinación en torno del 60% puede ser considerada segura para un cultivo satisfactorio de caña (Humbert, 1974).

La época de plantación, como factor de manejo, incluye los efectos de la edad/calidad de la semilla o esquejes y, en especial, los de las variables ambientales. La incidencia del primer factor se relaciona con diferencias en el estado hídrico, nutricional, fisiológico y con el contenido y tipo de azúcares del esqueje. En cuanto al segundo factor, es ampliamente reconocido que la modificación de la fecha de siembra genera variaciones en el escenario ambiental, principalmente en las condiciones térmicas e hídricas, que inciden en la emergencia, en el desarrollo foliar y en la producción (Romero *et al.*, 2005).

2. Crecimiento vegetativo, amacollado o ahijamiento, elongación del tallo y cierre de la plantación (50 -70 días). El crecimiento y el rendimiento son muy sensibles a cualquier déficit de agua en esta etapa exigente; además la planta amacolla, se desarrolla mayor cantidad de follaje y la plantación comienza a cerrar. Es necesario aplicar fertilizante, para que las plantas puedan desarrollarse satisfactoriamente en la siguiente fase. La elongación del tallo es inicialmente rápida y, durante esta fase, el contenido de fibra del tallo es elevado, mientras que los niveles de sacarosa son todavía bastante bajos. Una temperatura cercana a 30°C es considerada como óptima para el ahijamiento (Fauconnier 1975).

El ahijamiento es el proceso fisiológico de ramificación subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales compactas del tallo primario. El ahijamiento le da al cultivo un número adecuado de hojas activas y tallos, que permiten obtener un buen rendimiento. Diversos factores, tales como la variedad, la luz, la temperatura, el riego (humedad del suelo) y las prácticas de fertilización afectan al ahijamiento. La incidencia de una iluminación adecuada en la base de la planta de caña durante el período de ahijamiento es de vital importancia. Los hijuelos o retoños que se forman primero dan origen a tallos más gruesos y pesados. Los retoños formados más tarde mueren o se quedan cortos o inmaduros. Manejos culturales como el espaciamiento, la fertilización, la disponibilidad de agua y el control de las arvenses afectan al ahijamiento (Barbieri, 1993).

3. Crecimiento rápido e incremento del rendimiento (180 - 220 días). Comprende desde el cierre del dosel hasta el inicio del periodo de madurez de los tallos. Se caracteriza por el aumento de biomasa y del número de tallos por área. La humedad es fundamental para que el sistema radical se desarrolle y pueda absorber los nutrientes. Cualquier déficit de agua comenzaría el proceso de maduración y detendría la acumulación de sacarosa antes de su etapa óptima

Durante la primera etapa de esta fase ocurre la estabilización de los retoños. De todos los retoños formados sólo el 40 - 50% sobrevive y llega a formar cañas triturables. Esta es la fase más importante del cultivo, en la que se determinan la formación y elongación real de la caña y su rendimiento. En esta fase ocurre un crecimiento rápido de los tallos con la formación de 4-5 nudos por mes, así como una foliación frecuente y rápida hasta alcanzar un índice de área foliar (IAF) de 6-7 (Barbieri, 1993).

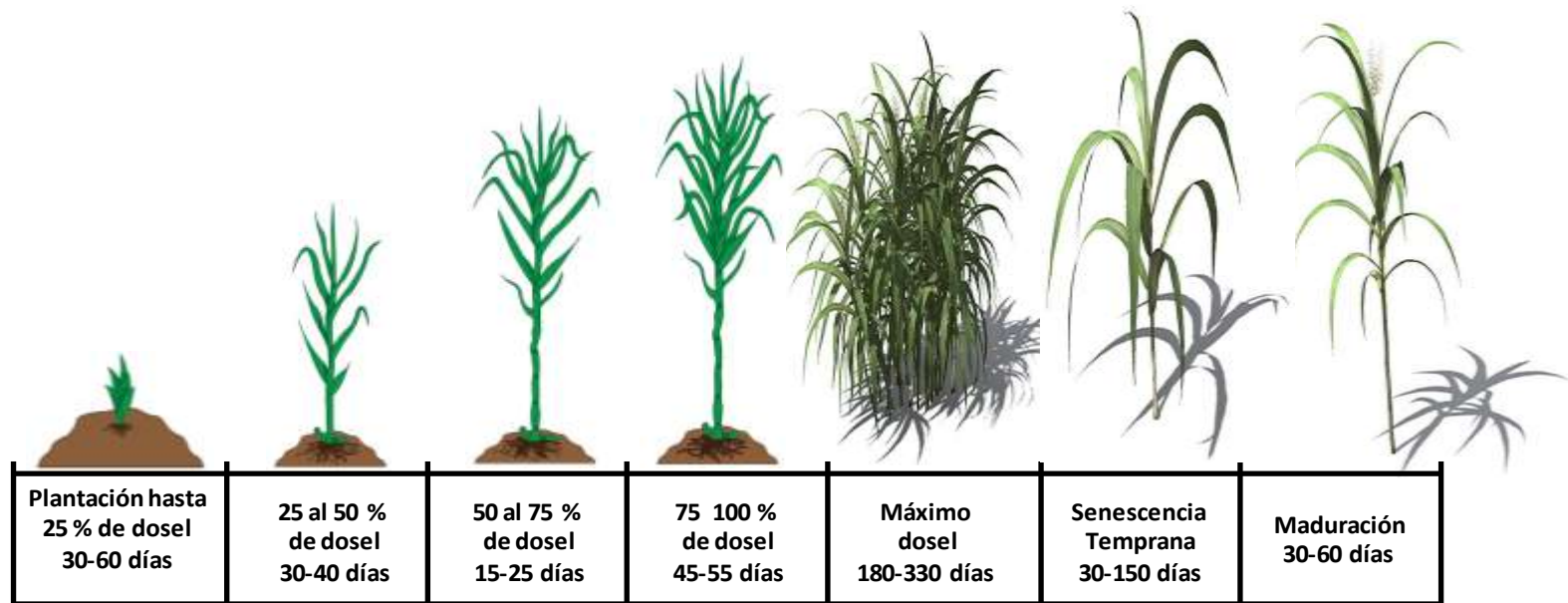
El riego por goteo, la fertirrigación y la presencia de condiciones climáticas de temperatura y humedad elevadas, y alta radiación favorecen una mayor elongación de la caña. El estrés hídrico reduce la longitud internodal. Temperaturas sobre 30°C, con humedad cercana al 80%, son más adecuadas para un buen crecimiento (Benvenuti, 2005).

4. Maduración y sazonado (60 - 140 días): Se inicia alrededor de dos a tres meses antes de la cosecha para cultivos con ciclo de 12 meses, y de los 12 a los 16 meses de edad para los que completan el ciclo en 18 a 24 meses. En esta fase se requiere un bajo contenido de humedad del suelo, por lo que el riego debe ser reducido y luego detenerse para llevar la caña a la madurez; así, se detiene el crecimiento y se propicia la acumulación de carbohidratos y la conversión de azúcares reductores (glucosa y fructosa)

a sacarosa (Pereira Leite 2009). La maduración del tallo ocurre desde la base hacia el ápice y por esta razón la parte basal contiene más azúcares que la parte superior

Condiciones de abundante luminosidad, cielos claros, noches frescas y días calurosos (es decir, con mayor variación diaria de temperatura) y climas secos son altamente estimulantes para la maduración. La consecuencia práctica del conocimiento de estas etapas permite al productor una mejor comprensión de lo que ocurre con la planta y ayuda a un manejo eficiente del agua y los nutrimentos. El control parcial del crecimiento vegetativo y la manipulación de la producción de azúcar es factible. El conocimiento de las fases fenológicas de la planta es esencial para maximizar los rendimientos de caña y la recuperación del azúcar (Hunsigi, 2001).

5. Cosecha. Los factores que afectan el sazonado de la planta de caña de azúcar son la edad, el contenido de nitrógeno del suelo y la humedad. Los factores ambientales pueden influir en la acumulación de sacarosa, incluido el estrés hídrico, los nutrimentos y la temperatura. Por regla general, la caña de azúcar es cosechada mediante un corte en la base del tallo, el cual se hace de forma manual o mecánica; la paja se elimina manualmente o es quemada previamente a la cosecha; ésta ocurre antes de la floración (12 a 18 meses después de la siembra) debido a que la antesis conduce a la reducción en el contenido de azúcar en los tallos (Humbert, 1974, Fauconnier, 1975, Dillewijn 1978) Estas etapas se traslapan cíclicamente entre los ciclos planta, soca y resocas y determinan el calendario de los periodos de zafra y no zafra azucarera (Figura 2.9). Se esperan mayores producciones de la caña planta y un decrecimiento a medida que la edad aumenta.



Simbología

CP, CS = Ciclo Plantilla y Soca
 CRe = Ciclo Resoca

Enero Meses de Zafra
Julio Meses de entrefazra

P= Plantio R= Rebrote C= Cosecha

Figura 2.9. Ciclo fenológico y productivo de la caña de azúcar

2.2.1. Calendario de actividades de campo

En ciclo planta el calendario inicia con la preparación del suelo, la cual incluye: chapoleo (limpieza de arvenses con machete), subsoleo, barbecho, cruza, rastrillaje, nivelación y surcada. Sin embargo, las actividades posteriores son similares para los tres ciclos (planta, soca y resoca)

Plantación. En dependencia de la zona y de las condiciones climáticas, por ejemplo, en ausencia de lluvia, se puede empezar la preparación de suelo y la siembra en los meses de octubre a enero (siembras de primavera), esto para los terrenos altos; para las zonas bajas estas labores inician en noviembre o diciembre (siembras de invierno). La caña se siembra en trozos de 60 cm de largo utilizando hasta 12 t ha^{-1} de tallos, que son sembrados con profundidades de 15 a 25 cm; la distancia entre surcos varía de 1.2 a 1.5 metros dependiendo si la cosecha será manual o mecanizada. Los trozos deben tener de 3 a 5 yemas de las que nacerán los nuevos tallos que formaran las cepas (10 a 12 tallos por cepa)

Fertilización. En el caso de la plantación, el fertilizante se aplica en el fondo del surco al momento de la siembra; y para el caso de las socas y resocas el fertilizante se aplica antes de los 90 días posteriores a la cosecha.

Labores de escarda y aplicación de herbicidas. En el caso de plantación, el control de arvenses se puede realizar químicamente en los días subsecuentes a la colocación de los esquejes mediante la aplicación de un herbicida pre-emergente. Para el caso de las socas y resocas la aplicación del herbicida se realiza cuando las arvenses alcanzan una altura entre los 5 y 10 cm.

Aplicación de madurantes (reguladores del crecimiento). Las especificaciones de estos productos varían acorde con las características climáticas de la zona (precipitación, temperatura y horas luz) y de la variedad de caña que se esté cultivando.

En cuanto al cierre del dosel, esto se refiere al momento en que las plantas de caña de azúcar han alcanzado una altura adecuada (alrededor de 1.5 metros) y las hojas de estas se entrecruzan provocando así que la incidencia de luz sobre el suelo cultivado sea menor, lo que reduce la densidad de arvenses nocivas para la caña de azúcar y se perfila el momento de cosecha o fin de las etapas fenológicas (Figura 2.10). El cierre de campo, entre otras cosas, depende de la distancia a la cual se encuentren los surcos, del amacollado y de las características de las variedades (Herrera, 2009)

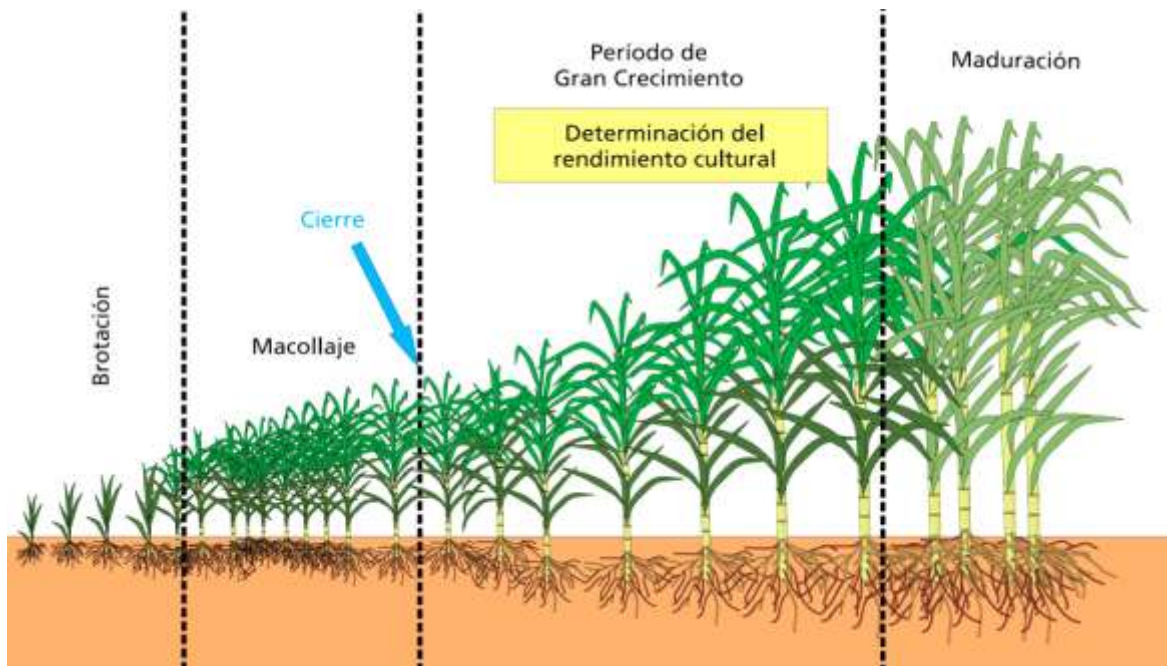


Figura 2.10. Amacollado y cierre del cañaveral (Romero, 2009)

Ahuile de basura, remanga y requema de residuos (hojas, cogollos y chupones). Actividad llevada a cabo una semana después de la cosecha; evita el desarrollo de malezas y contribuye a incrementar el contenido de materia orgánica del suelo.

Destronque. Consiste en recortar los tocones que el cortador o la máquina cosechadora dejan en el campo, ya que el corte no se hace a ras del suelo. La permanencia de estas secciones, reduce el poder de germinación y afecta la calidad de los retoños.

Subsolado. Se realiza 10 días después del corte, y permite remover los primeros 30 o 40 cm del suelo compactados durante la cosecha, eliminar raíces viejas y muertas, estimular la formación de nuevas, recortar los bordes del surco para mantener la anchura entre líneas de plantación, favorecer la aireación y mejorar la eficiencia del riego.

Limpieza o descepada: consiste en la eliminación de los desechos de los cultivos diferentes a la caña o en la remoción de las cepas viejas, en caso de renovación

Arada: esta labor persigue romper e invertir la capa arable del terreno, a una profundidad de 25 cm en suelos poco profundos y de 35-40 cm en suelos profundos; se debe efectuar en época seca, con arados de disco o vertedera o también con rastras pesadas tipo Rome.

Rastrillaje (gradeo). Se utiliza para cortar, desterronar y voltear el suelo, hasta mullirlo, así como para destruir e incorporar los residuos de cosecha. Se aconseja

efectuar una o dos pasadas de rastra (grada), utilizando rastras de varios discos. Debe impedirse el afinamiento excesivo del suelo, especialmente en zonas muy ventosas.

Aplicación de cal agrícola. La cal se puede incorporar después de arar o rastrillar, para asegurar la mezcla con el suelo de la capa superficial, práctica que asegura una adecuada neutralización en esta zona de gran actividad radical. La presencia de humedad adecuada (cercana a capacidad de campo) es fundamental para la reacción del correctivo en el suelo. En términos globales, la dosificación de cal varía entre 0,5 y 2 toneladas de carbonato de calcio por hectárea

Surcada. Los surcos, si las condiciones y la topografía del terreno lo permiten, deben ser trazados en pendientes de 1 a 2%, en líneas rectas o en contorno. Para esta labor se utiliza un surcador de uno y dos cuerpos, en dependencia de la potencia del tractor con que se hace la labor. Los surcadores trabajan a una profundidad aproximada de 25-30 cm y la tierra que desplazan hacia los lados forma los caballones.

Aporcadura o redondeo. Se realiza durante las primeras semanas después de la cosecha; es una práctica cultural que consiste en acercar suelo al caballón que se forma sobre la línea de plantación, permitiéndole a la planta un mayor anclaje y resistencia al vuelco, a la vez que evita la excesiva humedad al pie de la planta. El riego que inicialmente se realizaba en el surco situado en la línea de plantación, se cambia para el nuevo surco formado a lo largo del antiguo caballón.

Resiembra. Consiste en plantar nuevos esquejes en los sitios donde el material no germinó o donde las plantas se perdieron después de la cosecha. Esta práctica debe hacerse dentro de los 10 días siguientes a la emergencia del 80 % de la población, es decir, a los 40 días de la plantación.

Control de arvenses. Se ha encontrado que el período crítico de competencia de la caña planta con las arvenses, ocurre entre los veinte y cien días después de la plantación, y para las socas entre los veinticinco y noventa días después del corte. A partir de los noventa o cien días del cultivo, la sombra que proyecta el follaje es suficiente para no permitir el crecimiento de las arvenses. Se define como “período crítico de competencia” aquel en que la plantación de caña debe estar libre de arvenses o con la mínima presencia de ellas para que no reduzcan significativamente el rendimiento por unidad de área. En ciclos de 12 meses se extiende en plantaciones recién establecidas (caña planta) entre 15 y 120 días de edad y entre los 15 y 90 días para socas y resocas. En plantaciones de ciclo de 14 y 18 meses este período comprende entre 30 y 150 días para plantillas y de 30 a 120 días para socas y resocas

Cosecha. La cosecha de la caña es la culminación de todos los esfuerzos sostenidos durante los 12 a 18 meses que el tallo tarda en llegar a su madurez industrial. Desafortunadamente, en muchos casos no se le da la debida atención

al corte y transportación eficiente, con lo cual se pierde en unos cuantos días el trabajo de muchos meses o, cuando menos, merman las utilidades que ya ha obtenido el cañero con su trabajo e inversiones, al reducirse el peso de la caña y la cantidad de azúcar que sirve de base para determinar el valor de la tonelada de caña.

Para que la cosecha se realice de una forma adecuada, es necesario seguir el siguiente orden:

1. **Primer tercio de la zafra.** Se cosechan las cañas quedadas o diferidas del ciclo inmediato anterior y las plantillas de 16 a 18 meses
2. **Segundo tercio de la zafra.** Se cosechan las socas de mayor madurez, de 12 a 14 meses de edad.
3. **Tercer tercio de la zafra.** Se cosechan las resocas programando su corte de acuerdo con la edad y su máxima madurez industrial.

Resiembra. Uno de los factores que más inciden en la productividad y rendimientos de la agricultura cañera es la despoblación de cepas de sus áreas o campos sembrados. No todas las variedades de caña germinan igual, ahíjan igual o son plantadas con la calidad requerida del esqueje, o en las condiciones idóneas de preparación del suelo; por ello, existe la necesidad de resembrar o plantar en los espacios vacíos para lograr poblaciones con más del 95% de plantas por hectárea. Una despoblación se considera a partir de una distancia de 40 cm entre cepa y cepa (Viveros, 2002).

Esta labor consiste en el surcado de las áreas perdidas con palas o mediante equipo mecánico, colocando de nuevo los trozos en el fondo del surco, procediendo a taparlos; al detectar el problema se debe proceder con rapidez para evitar que el cultivo entre en competencia con las áreas aledañas (Herrera, 2009, James, 2004, Subiros, 2000, Chávez, 1999, Humbert, 1974, Fauconnier, 1975, Dillewijn 1978). Estas actividades representan una tecnología disponible para mejorar la capacidad productiva, la fase del ciclo en que deberán implementarse y los efectos más importantes que provocan en el crecimiento y desarrollo del cultivo (Figuras 2.11 y 2.12)

Ciclo productivo	Estación seca (Zafra)								Lluvias				Estación seca (Zafra)							
	Ciclo Planta																			
	Ciclo Soca												Ciclo Resoca							
Actividad/Mes	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.		
Preparación del terreno																				
Siembra																				
Resiembra																				
Fertilización N																				
Fertilización P																				
Fertilización K																				
Aplicación de herbicidas																				
Labores de limpieza de arvenses																				
Riego																				
Cierre de campo																				
Defoliación																				
Madurantes																				
Cosecha																				
Ahuile y requema de residuos																				
Destronque																				
Subsolado																				
Limpieza o despepada																				
Arada																				
Rastrillaje																				
Aplicación de cal																				
Surcada																				
Aporcadura																				
Limpieza de canales de riego																				
Cosecha																				

Figura 2.11. Calendario de actividades para el cultivo de caña de azúcar.

Cuadro 2.4. Tecnologías de manejo disponibles en el campo cañero según la fase del cultivo en que se las implemente y los efectos que producen en el cultivo (Romero, 2009)

Fase	Factores de manejo	Efectos observados
I Emergencia y amacollado	Sistematización y preparación de suelos, época de plantación y/o corte, elección de cultivares; selección y tratamiento de semilla; laboreo etc. Diseño de plantación, surcos de base ancha. Control de malezas. Riego. Fertilización. Plagas y enfermedades	Establecimiento de una alta población de tallos: Aumento del porcentaje y velocidad de brotación Inicio temprano del amacollado Mejor distribución espacial Cierre temprano y rápido inicio de la fase siguiente Alta tasa de desarrollo Altas tasa de crecimiento radical, foliar y caulinar
II Crecimiento activo	Fertilización (aplicación en fase I) Riego Plagas y enfermedades Arvenses o malezas (ejecución fase I)	Altas y sostenidas tasas de crecimiento del cultivo: Asegurar una óptima disponibilidad hídrica y nutricional Mantener una elevada población de tallos Máximo aprovechamiento de las condiciones ambientales del verano Lograr un inicio temprano de la fase siguiente
III Maduración	Elección de cultivares (distribución por tipo de madurez) Regulación del riego y fertilización en dosis y época adecuada Maduración química	Máxima expresión del potencial azucarero de los genotipos disponibles Inducir una reducción de la tasa de elongación de los tallos Aumentar la tasa de almacenamiento de sacarosa Mantener la actividad fotosintética Disminuir el contenido hídrico de los tallos Mejorar la calidad fabril de la materia prima.
IV Cosecha	Adecuada planificación de la zafra Optimizar la eficiencia de los sistemas de cosecha Minimizar las pérdidas de azúcar Capacidad para reordenar el programa de cosecha por efectos climáticos	Homogenizar la maduración de los distintos cultivares y edades de los cañaverales Lograr bajos niveles de estacionamiento en batey, de residuos de cosecha y perdidas de materia prima Despuntar en un óptimo nivel Minimizar las pérdidas de azúcar y materia prima por efectos climáticos.

2.2.2. Factores limitantes climáticos y edafológicos en el rendimiento de caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta que presenta una amplia variabilidad y una reconocida capacidad de adaptación cuando es sometida a condiciones desfavorables, de clima, de manejo y de suelo (Figura 2.12). Es decir, se sustenta en ventajas como su adaptación a un amplio ámbito de condiciones agroecológicas, baja sensibilidad a pobres condiciones de fertilidad del suelo y a regímenes cálido-húmedos prolongados.

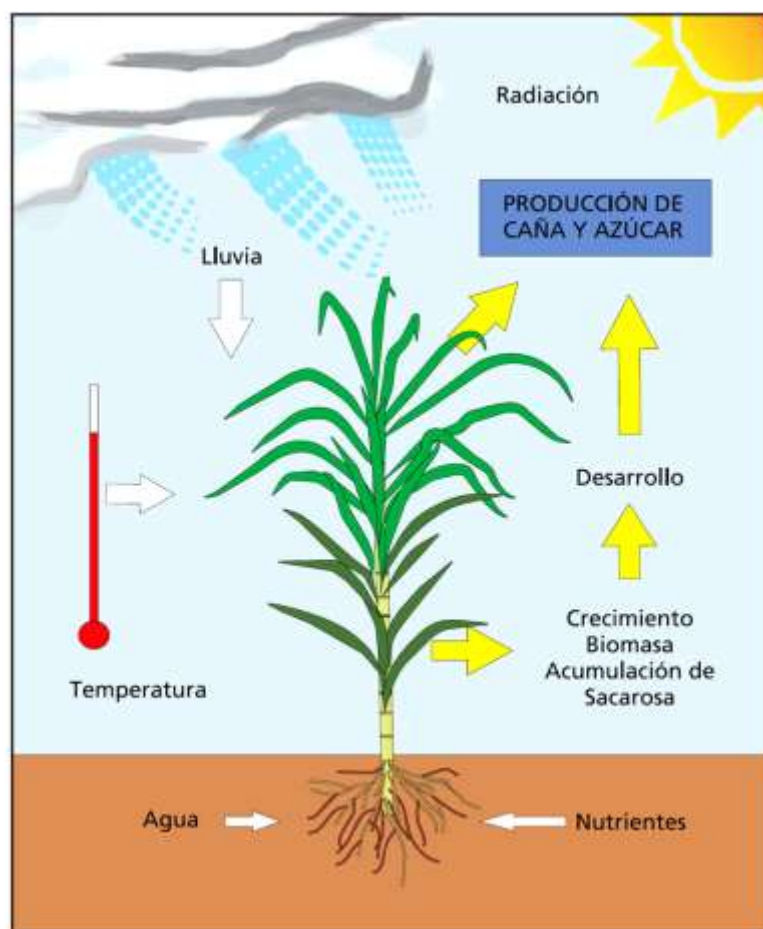


Figura 2.12. Factores que interactúan en la definición de la capacidad productiva del cultivo (Romero, 2009)

La conformación anatómica y las características fisiológicas propias de la especie, proporcionan los atributos necesarios y suficientes para caracterizarla como una planta altamente eficiente, lo que favorece su capacidad de adaptación. Sin embargo, para manifestar su máximo potencial productivo, la caña requiere de un estudio preciso de las condiciones ambientales, meteorológicas y edafológicas óptimas (Moore, 2009; FAO, 2009; De Souza-Rolim, 2008; Domingues-Carlin, 2008; Inman-Bamber, 2005; Hunsigi, 2001; Chávez, 1999). En lo que respecta a la fertilidad del suelo, se acepta internacionalmente que la planta de caña puede tolerar variaciones severas en la fertilidad y en el equilibrio nutricional; sin embargo, los rendimientos agroindustriales decrecen en la medida en que los niveles de fertilidad son bajos o mal equilibrados. Los factores que limitan la productividad de este cultivo se presentan en la Figura 2.13.

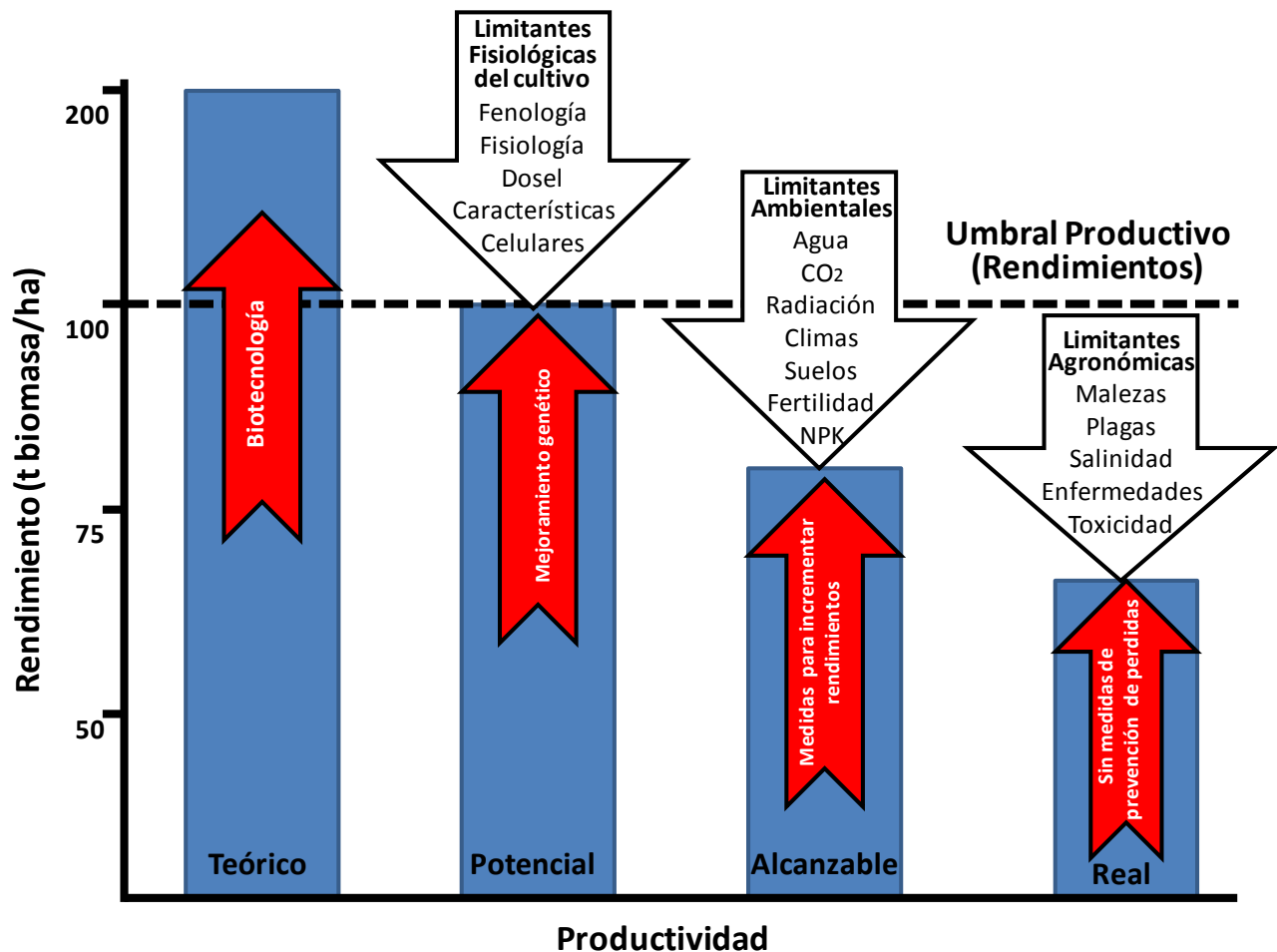


Figura 2.13. Factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar (Moore, 2009)

En relación a los factores anteriores, Kropff, (1997) estableció que la producción potencial de biomasa y sacarosa se logra cuando se dispone de humedad suficiente, pero también depende del fotoperiodo, la estructura y arquitectura de tallos y hojas, de la densidad de población y de la distribución de los tallos.

La producción alcanzable u obtenible depende de la acción de los factores que limitan a la producción potencial como son la disponibilidad de agua y de nutrientes. Estos factores se manifiestan en problemas para el cultivo, y son:

- La disponibilidad de agua y su suministro; es decir, la cantidad, frecuencia e intensidad de las lluvias, la disponibilidad y eficiencia del riego y la calidad del agua.
- Las características físicas y químicas del suelo: textura, estructura, profundidad, pH, salinidad y sodicidad
- La presencia de niveles freáticos elevados que son nocivos para el cultivo, lo que se relaciona con la existencia, profundidad, separación y eficacia de un sistema de drenaje.

- Los factores que se derivan del genotipo de caña, como floración temprana y el grado de erección del tallo.
- Un clima ideal para el cultivo de caña es el que presenta dos estaciones distintas: una caliente y húmeda, para proporcionar la germinación, el amacollado y el desarrollo vegetativo, seguida de otra fría y seca, para lograr la madurez y la consecuente acumulación de sacarosa en los tallos.

La producción real depende de la acción de los factores que reducen la producción obtenible o potencial:

- Arvenses nocivas, plagas, enfermedades, agentes contaminantes, fenómenos naturales (inundaciones, heladas, huracanes y quemas accidentales).
- Tecnología; por ejemplo, la disponibilidad de la infraestructura de riego y de drenaje, mecanización y el conocimiento del sistema.
- Administración, en lo relacionado con el manejo del cultivo.
- Factores ambientales, políticos, sociales y económicos.

2.2.3. Factores climáticos

La caña de azúcar se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas, pero se desarrolla mejor en regiones tropicales, cálidas y con amplia radiación solar (Humbert, 1974). Las características climáticas ideales para lograr una máxima producción de azúcar de caña son:

La presencia de una estación calurosa larga, con alta incidencia de radiación solar y una adecuada humedad. La planta utiliza entre 148 a 300 g de agua para producir 1 g de materia seca.

La presencia de una estación seca, soleada y fresca, libre de heladas, es necesaria para la maduración y cosecha. El porcentaje de humedad cae drásticamente a lo largo del ciclo de crecimiento de la caña, de un 83% en plantas muy jóvenes a un 71% en la caña madura, mientras que la sacarosa aumenta de menos de 10% hasta 45% del peso seco (Humbert, 1974).

Lluvia: Una precipitación total entre 1500 y 1800 mm es adecuada en los meses de crecimiento vegetativo, siempre que la distribución de luz sea apropiada y abundante. Después debe haber un período seco para la maduración. Durante el período de crecimiento activo la lluvia estimula el crecimiento rápido de la caña, la elongación y la formación de entrenudos. Sin embargo, la ocurrencia de lluvias intensas durante el período de maduración no es recomendable, porque produce una pobre calidad de jugo y favorece el crecimiento vegetativo; además, dificulta las operaciones de cosecha y transporte (FAO, 2009, Dos Santos et al., 2008, Inman-Bamber, 2005, Hunsigi, 2001). En condiciones adecuadas, el rendimiento se incrementa en proporción directa con la cantidad de agua disponible, y por cada 10 mm de agua utilizada se puede obtener alrededor de 1 t de caña por hectárea (BSES, 1991), lo que influye directamente en las prácticas de manejo del cultivo.

Temperatura: El crecimiento está directamente correlacionado con la temperatura. La temperatura óptima para la brotación (germinación) de los esquejes es de 32°C a 38°C. La germinación disminuye bajo 25°C, llega a su máximo entre 30-34°C, se reduce por sobre los 35°C y se detiene cuando la temperatura sube sobre 38°C. Temperaturas sobre 38°C reducen la tasa de fotosíntesis y aumentan la respiración. Por otro lado, para la maduración son preferibles temperaturas relativamente bajas, en el rango de 12-14°C, ya que ejercen una marcada influencia sobre la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo y el enriquecimiento de azúcar de la caña. A temperaturas mayores la sacarosa puede degradarse en fructosa y glucosa, además de estimular la fotorrespiración, que produce una menor acumulación de azúcares. Por otro lado, condiciones severas de frío inhiben la brotación de las socas y reducen el crecimiento de la caña. Temperaturas inferiores a 0°C producen el congelamiento de las partes más desprotegidas, como las hojas jóvenes y las yemas laterales. El daño depende de la duración de la helada. El ataque del carbón y su diseminación es mayor a temperaturas ambientales de 25-30°C. De modo similar, la diseminación de la pudrición roja es mayor a temperaturas altas (37-40°C) cuando las demás condiciones son similares. La incidencia de la marchitez es mayor cuando las temperaturas mínimas caen drásticamente. La incidencia de la mosca pinta (*Aeneolamia spp.*) es alta en el verano, cuando las temperaturas del aire son más elevadas. También una mayor incidencia de la mosca pinta ha sido observada cuando la diferencia entre la temperatura máxima (día) y mínima (noche) es pequeña (Pereira Leitel, 2009).

Humedad relativa: Durante el período de crecimiento rápido, las condiciones de alta humedad (80 - 85%) favorecen una elongación rápida de la caña. Valores moderados, de 45 - 65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos durante la fase de maduración (Inman-Bamber, 2005).

Energía solar: La caña se ubica en el grupo de las plantas con vía fotosintética C₄, que poseen anatomía tipo "Kranz". Las hojas poseen dos tipos de cloroplastos: los localizados en las células del mesófilo y los de las células de la vaina vascular, con los cuales la planta es capaz de fijar CO₂ por dos vías: a) por la vía normal C₃, y b) por la vía alternativa C₄, en compuestos de cuatro carbonos como ácido málico, principalmente, ácido aspártico o ácido oxalacético. Esa refijación de CO₂ en los haces vasculares de la vaina como fosfoglicerato (3-PGA) posibilita una mayor eficiencia fotosintética y utilización de la energía solar, puesto que su tasa fotosintética aumenta con la luminosidad, hasta alcanzar valores superiores a 60 lux (lumen /m²) (600 w/m²) de intensidad, con una variación entre 6,5 a 150 lux (65 a 1500 w/m²), en función de la variedad, lo que le confiere un elevado punto de saturación de luz. La caña alcanza valores de fijación de CO₂ elevados, lo que refleja su elevada capacidad fotosintética y alto punto de compensación. Se asegura que posee una eficiencia que va de 5 a 6% en la conversión de energía solar (Benvenuti, 2005 y Hunsigi, 2001). Adicionalmente, la caña no presenta fotorrespiración aparente, con lo cual no elimina o pierde CO₂ por las hojas a tasas rápidas, simultáneamente con la absorción de CO₂ por la fotosíntesis y estimulada por la luz. Su velocidad de fotosíntesis es cerca de dos o tres veces superior a la de las gramíneas C₃, presentando una capacidad fotosintética de 34 a 86 mg CO₂/dm²/h. La vía C₄ permite realizar la fotosíntesis con los estomas prácticamente cerrados, lo que duplica su eficiencia en el uso del agua y su transpiración relativa (fotosíntesis líquida/transpiración), en comparación con otras

gramíneas del tipo C₃. Por esta razón, la caña utiliza el agua con mayor eficiencia, manteniendo a su vez, una mayor adaptabilidad en condiciones de déficit de humedad o sequía (De Souza, 2008).

El Índice de Área Foliar (IAF), el cual describe la dimensión del sistema asimilador de una comunidad vegetal, al igual que otros índices vegetales, constituye una excelente aproximación para evaluar la capacidad de desarrollo del follaje y, consecuentemente, su capacidad fotosintética total, denominada productividad primaria bruta. La caña presenta en este sentido una gran área foliar, con un IAF elevado (4 a 10) de acuerdo con la variedad; sus hojas son casi verticales durante la mayor parte de su periodo de crecimiento y la anchura de la lámina foliar es variable, lo que eleva significativamente su eficiencia en la intercepción de luz (Xin-Guang Zhu, 2008, Chaves, 1988).

En el follaje de la caña las primeras seis hojas superiores interceptan el 70% de la radiación y la tasa fotosintética de las hojas inferiores disminuye debido al sombreado mutuo. Por lo tanto, para una utilización efectiva de la energía radiante se considera como óptimo un valor de 3.0-3.5 de Índice de Área Foliar (Barbieri, 1993).

Se ha estimado que el 80% del agua es perdida por acción de la energía solar, un 14% se pierde por efecto del viento y un 6% se pierde por acción de la temperatura y la humedad. Altas velocidades de viento, superiores a 60 km/hora, son perjudiciales para cañas ya crecidas, al causar la tendedura y el rompimiento de las cañas. Además, el viento favorece la pérdida de humedad de las plantas, agravando así los efectos dañinos del estrés hídrico (Chandra, 2005)

Los factores limitantes descritos influyen directamente en la fotosíntesis de la caña de azúcar, el proceso fundamental que determina la productividad del 90% o más de la biomasa seca y del 100% de los productos útiles: la sacarosa y el bagazo. (Figuras 2.14 y 2.15).

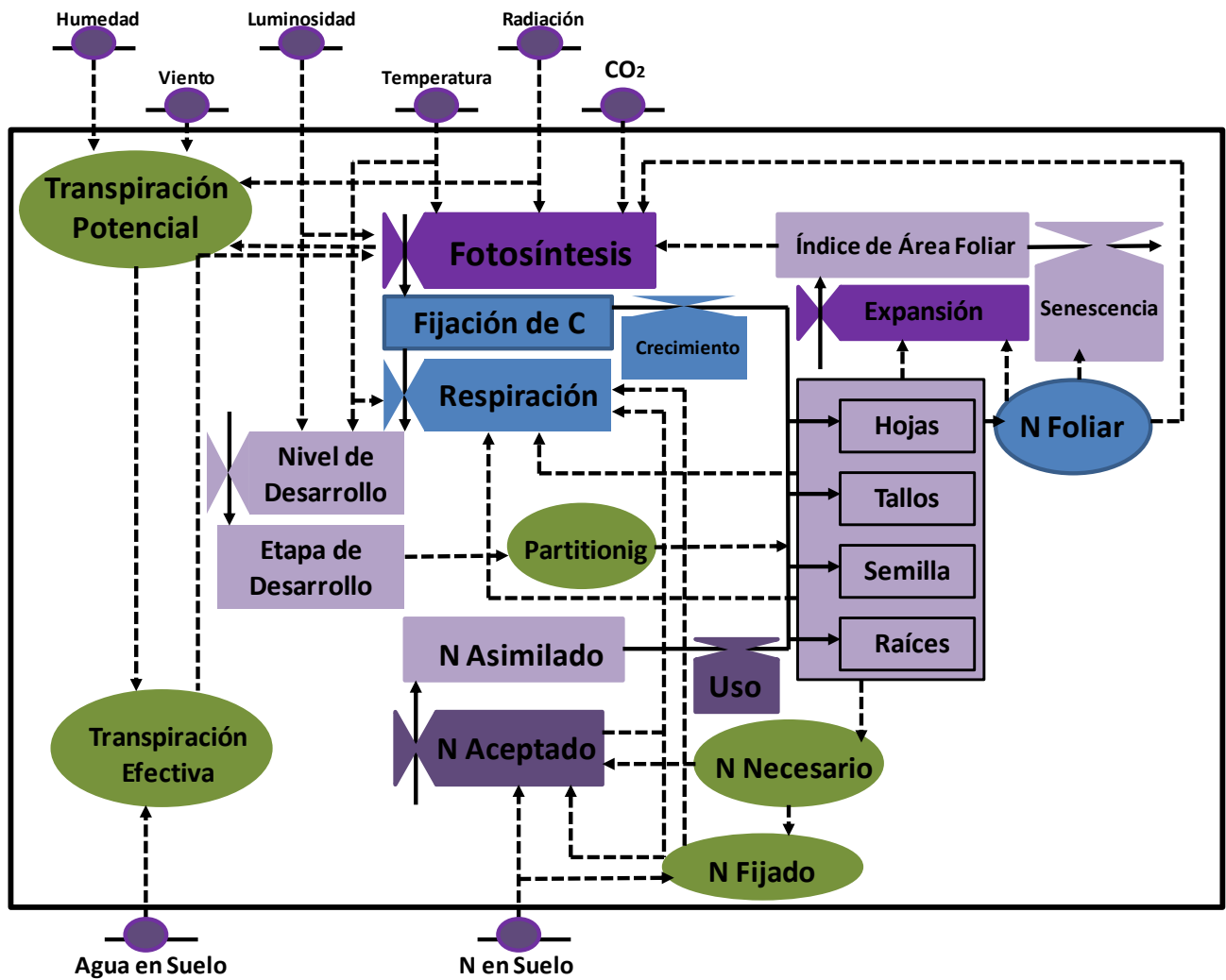


Figura 2.14. Mecanismo de la Fotosíntesis en caña de azúcar (Waclawovsky 2010, Moore 2009)

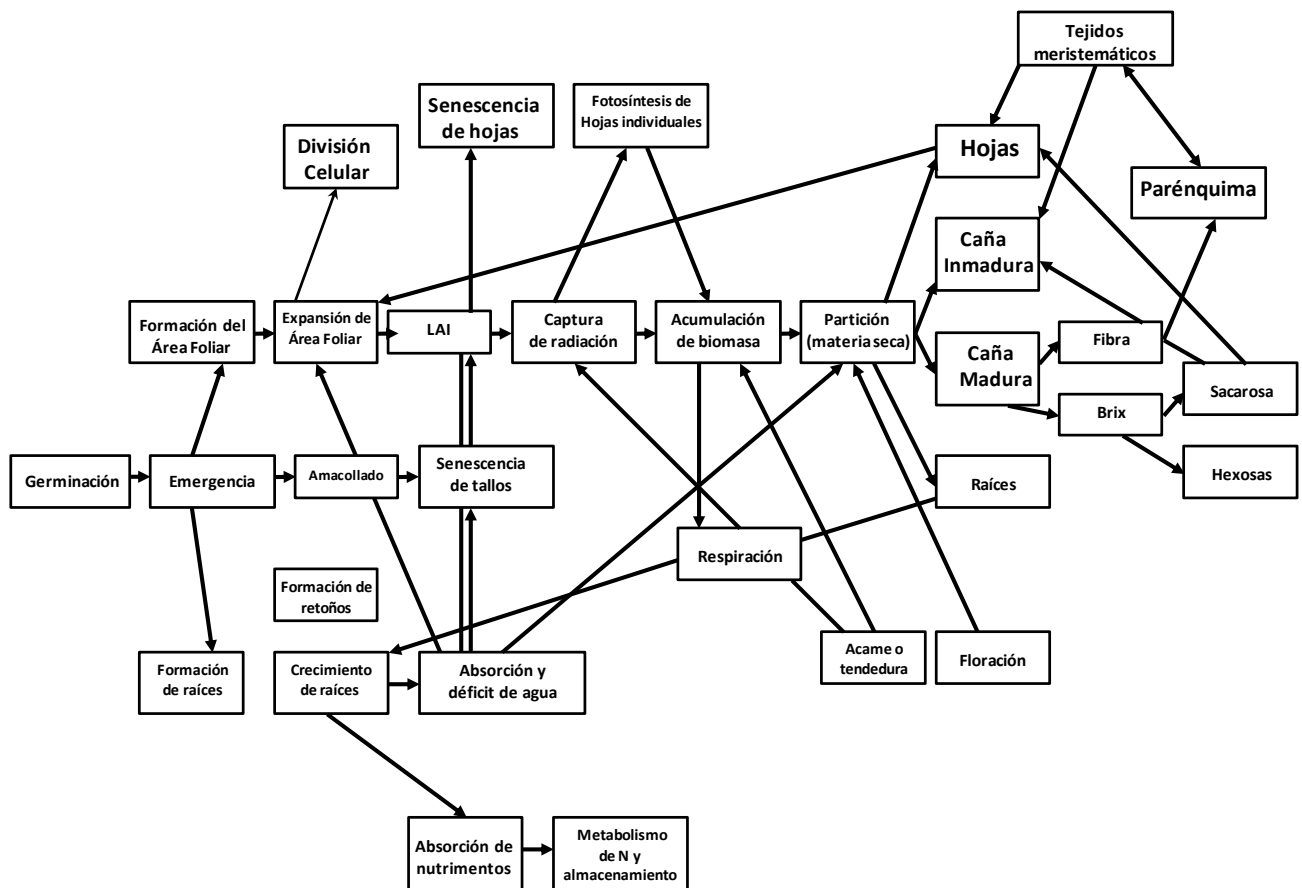


Figura 2.15. Modelo conceptual de la formación de biomasa cañera (Moore, 2009)

Todas las características y propiedades anatómicas, fisiológicas y genéticas anotadas anteriormente, tipifican a la caña de azúcar como una planta de alta rusticidad, sobresaliente capacidad de adaptación, y elevado potencial de producción y conversión de energía solar (Chávez, 1999).

2.2.4. Factores edafológicos

El suelo es el medio para el crecimiento de la planta. Proporciona nutrimentos, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La manutención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar. La caña de azúcar puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos. Las condiciones edáficas ideales para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³, con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática por debajo de 1.5 a 2 m de profundidad y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (cm³ de agua por cm³ de suelo). El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad. Por esta razón se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 5.0 y 8.5. El encalado es necesario cuando el pH es inferior a 5.0, y la

aplicación de yeso es necesaria cuando el pH sobrepasa 9.5. Las infestaciones por nematodos ocurren naturalmente en suelos muy arenosos (Barbieri, 1993). Por otra parte, Arreola *et al.* (2004) Plantearon que para producir una tonelada de tallos molederos, el cultivo de caña de azúcar requiere de 1.2 kg de N, 0.7 kg de P y 3.0 kg de K, por lo cual es considerado un cultivo extractivo; además, se ha detectado que sólo 30% del N del fertilizante es utilizado por el cultivo de la caña de azúcar (Salgado *et al.*, 2008) (Cuadro 2.5)

Cuadro 2.5. Condiciones climáticas y edáficas para el cultivo de caña (Quintero 2008, Ortega 2007, Wahid, 2004, Hunsigi, 2001, ICA, 1992, Vázquez 1987, Chávez, 1999, Humbert, 1974, Fauconnier, 1975, Dillewijn 1978)

Propiedad	Nivel de aptitud al cultivo de caña de azúcar			
	Alta	Media	Baja	No Apta
Temperatura anual (°C)	22-32	20/22-32/35	18-20	<18
Precipitación media anual (mm)	>1,500	1,250-1,500	1,250-1,000	<1,000
Radiación solar (horas/año)	1800-2200	1800-1400	1400-1200	<1200
Índice de severidad de sequia	Leve	Moderada	Fuerte a Muy Fuerte	Severa
Pendiente (%)	0-8	8-16	16-30	>30
Altitud (msnm)	Hasta 400	400-850	850-1,300	>1300
Balance Hídrico (mm mes ⁻¹)	> 0 (Húmedo)	0 -50 (Sub húmedo)		< -50
Número de meses húmedos por año (Meses año ⁻¹)	>8	>6 <8	>5 <6	<5 (Seco)
Drenaje externo	bueno moderado	imperfecto-moderado	pobre	pobre-inundable
Drenaje interno	bien drenado	Mod. bien drenado	Imp. drenado algo ex. drenado	muy pobre drenado
Profundidad (cm)	>100	80-100	50-80	<50
Textura	Franco-Arcilloso	Arcilloso	Franco-Arenoso	Arenoso
pH	6.6 – 7.3	6.1 – 6.5 7.4 -8.3	5.6 -6.0 > 8.3	< 5.5
CIC (meq/100g)	> 20	15 - 20	15-10	< 10
Materia orgánica (%)	> 5	3-5	2-3	1-2
N (%)	>0.4	0.1 - 0.4	0.032 – 0.1	< 0.032
Nitrógeno disponible) kg ha ⁻¹	> 300	300-225	225-150	<150
P (ppm)	>40	39-18	17-9	<9
K ppm	>468	468-82	78-42.9	<39
Ca (ppm)	>2004	1002-2004	400-1002	<400
Mg (ppm)	>365	158-365	60-158	<60
Azúfre SO ₄ (ppm)	>20	20-15	15-10	<10
Boro (ppm)	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5	0.5 – 1.0	< 0.5
Cu (ppm)	1.2-2.5	0.8-1.20	0.3-0.8	<0.3
Fe (ppm)	16.0-25.0	10.0-16.0	5.0-10.0	<5.0
Mn (ppm)	29.0-50.0	14.0-29.0	5.0-14.0	<5.0
Zn (ppm)	5.0-8.0	3.0-5.0	1.0-3.0	<1.0
Na (ppm)	<345	345-575	575-920	>920
Cloruros (meq/L)	<10	15-23	26-36	>36
Salinidad (mmhos/cm)	< 8	8 - 12	12 - 16	> 16
Relación Ca/Mg	>15	2.5-15	1.5-2.5	<1.5
Relación Ca/K	>25	25-15	15-5	<5
Relación C/N	8 -12	12-15	15-30	>30
Rendimiento esperado (t/ha)	>80	80-60	60-40	<40

Marini *et al.* (2008) concluyeron que para el cultivo de la caña de azúcar hay cuatro factores básicos que pueden afectar el desarrollo agrícola regional: los procesos físicos, incluidos las condiciones edafoclimáticas regionales, los componentes estructurales que corresponde a los sistemas agrícolas y prácticas de gestión adoptadas, los efectos institucionales, que implican acciones gubernamentales que afectan a los precios, crédito, comercialización, e incentivos, e investigación y desarrollo, y los relacionados con innovaciones para aumentar la producción y resolver los problemas físicos que restringen las actividades relacionadas con la agricultura cañera.

2.3. Justificación del estudio

La percepción remota en la producción de caña de azúcar ha sido aplicada en numerosos países en aspectos como: (1) clasificación y mapeo de caña de azúcar, en Australia, Brasil, Sudáfrica, Tailandia, Guatemala, Colombia, Argentina, Cuba, India, y Guadalupe, (2) identificación de etapas fenológicas y grados-día de crecimiento, en Sudáfrica, India y Australia, (3) discriminación de variedades, en Sudáfrica, Brasil, Australia y EE.UU., (4) seguimiento del riego y estrés nutricional, en EE.UU. y Australia, (5) detección de daños por insectos y enfermedades, en Australia, (6) predicción de rendimientos, en Brasil, India, Australia, Sudáfrica e Isla Reunión (Francia) y (7) manejo de residuos de cosecha, en Australia, Estados Unidos y Brasil. En todos los casos, con el objetivo de incrementar la productividad (rendimientos y calidad de la cosecha) con la reducción de los costos de producción para mercados cada vez más competitivos (Abdel-Rahman, 2008, Galvão et al. 2006, Soares 2005, Daughtry et al. 2005 Bappel, 2005, Hajj, 2009 y Bramley, 2001).

A partir de la información generada por imágenes satelitales y técnicas de geoprocésamiento en sistemas de información geográfica (SIG) y sistemas de geoposicionamiento global (GPS) se pueden derivar varios productos y ventajas; por ejemplo:

- a) la obtención de mapas temáticos que contienen la distribución espacial de áreas agrícolas.
- b) mayor confiabilidad y rapidez en la obtención de la información del cultivo, y respaldo en el análisis de consistencia de los datos recogidos por el método convencional (muestreo)
- c) manejo de los datos que se mantienen uniformes a través del desarrollo del cultivo, por ejemplo: superficie de parcelas, distancia entre lotes, tipo de suelo, topografía, profundidad del horizonte, etc., los cuales pueden servir para definir zonas homogéneas. La ventaja de este sistema (SIG-GPS) radica en que los registros y datos solamente son medidos una sola vez, ya que cambian muy poco a través del tiempo y se pueden generar mapas de utilidad a largo plazo.
- d) Orientación del trabajo de campo para recoger datos zonificados sobre el cultivo de caña de azúcar, con la consecuente reducción de costos mediante el procesamiento digital y la generación de mapas que muestran su variabilidad espacial
- e) elaboración de modelos universales aplicables a la predicción bajo diversas condiciones agroclimáticas y fenológicas.

Lazcano (2008) estableció que estas nuevas tecnologías están cambiando la forma en que el ingenio, los productores y sus consultores toman las decisiones. Las posibilidades de aplicación de estos sistemas son muy variadas, aunque en diferentes grados y con distinta efectividad, y aun cuando se siguen estudiando sus aplicaciones en los países más desarrollados, en México no se ha logrado establecer una sinergia con los trabajos convencionales de campo

Por otra parte, la identificación y evaluación de zonas productivas se dificulta debido al (a) tamaño pequeño de los predios, (b) la diversidad de cultivos establecidos en un área, (c) gran variabilidad de predio a predio en relación con fechas de siembra y cosecha, prácticas culturales y manejo de cultivos, (d) grandes áreas bajo temporal o secano con pobre desarrollo foliar, (e) cultivos intercalados y/o mixtos, y (f) amplia cobertura de nubes durante la temporada del cultivo de interés (Dadhwal, 2002)

En México, existe desinterés en el modelado de caña de azúcar utilizando sensores ópticos activos, y para la zona cañera de la Huasteca Potosina, no se dispone de una herramienta que permita caracterizar la problemática asociada a la producción de caña de azúcar y no se ha generado una metodología de percepción remota que permita establecer espacial y cuantitativamente aspectos relevantes como el área ocupada por el cultivo de caña de azúcar, la productividad a nivel zonas de abasto de los ingenios y predios, y la estimación del rendimiento de caña de azúcar; lo anterior, debido a la falta de conocimiento del comportamiento espectral de la caña de azúcar y otros usos del suelo; además de lo anterior, se desconocen otros factores limitantes correlación con los aspectos temporales de desarrollo del cultivo como la variedad, condiciones agroclimáticas, prácticas de manejo, y ciclo del cultivo entre otros. Todo ello, a pesar de que ha sido documentado que la variabilidad espacial de los cultivos de caña de azúcar es una de las principales causas de errores en la estimación de la producción (Hajj, 2009, Daamen *et al.* 2002).

En este sentido, los ingenios azucareros para realizar el cálculo de materia prima disponible dividen en "tablones" o "campos" el área donde se cultiva la caña de azúcar, bajo el supuesto que el área dentro del mismo es homogénea. Así, las dosis de aplicación de fertilizantes y otros insumos se calculan con base en los valores medios de fertilidad, y se hace un manejo uniforme en toda la extensión del campo o tablón. Lo mismo ocurre con las demás prácticas agrícolas. Este tratamiento uniforme puede generar pérdidas económicas, principalmente en grandes áreas, e inclusive puede llegar a causar daños ambientales (Bongiovanni *et al.* 2006). Sin embargo, los ingenios azucareros sólo toman en cuenta una serie de factores basados en la experiencia, entre ellos se destacan: la percepción de los patrones de crecimiento en cada predio, el desarrollo de la zafra anterior, las condiciones agroclimáticas pasadas y previstas, el estado del cañaveral, y las estimaciones de superficie, rendimientos culturales y rendimientos fabriles realizadas en pre-zafra.

Sin embargo, mediante esta metodología no se precisan las características y alcances que puedan tener las condiciones climáticas y generalmente se restringen a la elaboración de tres proyecciones para el rendimiento fabril final para la zafra siguiente asociadas con la intensidad, frecuencia y duración de las precipitaciones pluviales (generalmente sin datos

históricos) complementada con datos obtenidos mediante los métodos tradicionales de recolección de muestras de campo (Brix) sin tener en cuenta el estrés causado por la deficiencia de nutrientes o de plagas y enfermedades. Estos métodos son considerados como de mano de obra intensiva, costosa y laboriosa, y se asocian con una serie de problemas relacionados con la distribución espacial y el correcto funcionamiento de las estaciones meteorológicas (Hajj, 2009, Johnson *et al.*, 1997). Asimismo, las decisiones de gestión realizadas por los agricultores todavía se basan en la tradición, las observaciones personales y, en la mayoría de los casos, sin la interacción de consultores profesionales, personal técnico de la industria y/o de extensión universitaria

Para superar esta subjetividad, si se cuantifica la variabilidad de los factores productivos se puede hacer un manejo más eficiente del cultivo, el cual permita la aplicación de insumos de acuerdo con las necesidades y el potencial de cada punto, con lo que se puede estar en condiciones de recurrir a las técnicas de la agricultura de precisión (AP) (Xie *et al.*, 2008). Por lo tanto, los métodos alternativos que proporcionan una buena estimación del rendimiento de los cultivos podrían ser muy beneficiosos al generar bases de datos con información georeferenciada para realizar cartografía y análisis de tendencias del cultivo, publicando dicha información en informes periódicos que logren altos niveles de rendimiento del cultivo en un contexto de competitividad, y permitan monitorear los riesgos asociados a la producción que impactan significativamente en los rendimientos y calidad de los cultivos y en la economía de la región (Bongiovanni *et al.* 2006); es decir, con el fin de que los modelos puedan generar predicciones sobre grandes áreas cañeras, es esencial su asociación con Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Rizzi, 2005)

En este contexto, el uso de técnicas geomáticas permite, según Almeida *et al.* (2006), discriminar la información innecesaria y es una herramienta muy ventajosa en términos de la relación costo-beneficio, en comparación con el muestreo de campo. Lo anterior, porque permite obtener datos homogéneos de extensas superficies y realizar análisis multitemporales, y mapeo de las diferencias en el vigor de los cultivos (variaciones de la biomasa), lo que ayuda a orientar mejor la toma de muestras y observaciones de campo, y una mejor evaluación del potencial de producción de la superficie cultivada (Machado, 2007). Finalmente, según Straschnoy (2006), tiene la ventaja de integrar información procedente de diversas disciplinas tales como la meteorología, climatología, edafología, manejo de cultivos, fisiología vegetal y tecnologías de producción.

Es decir, para Chavarría (2002) los factores espaciales (suelo, clima, topografía, infraestructura, etc.), sin duda, influyen en la competitividad de un predio, una empresa o una cadena agroalimentaria, puesto que representan la base de recursos sobre la cual se desarrollan las actividades agrícolas. Así, la generación de información biogeográfica y agroecológica posibilita un tratamiento más eficiente de la producción agrícola y, por lo tanto, una mayor competitividad en los mercados. El empleo de sensores remotos para monitorear la agricultura y los recursos naturales de una región se torna, entonces, trascendental, pues el conocimiento de su estado y calidad incidirá en el proceso de toma de decisiones en tres acciones: a) *Definir una zonificación agroecológica.* b) *Analizar la distribución espacial de la producción agrícola.* c) *Cuantificar las áreas cultivadas.* De esa forma es posible, no sólo identificar el aporte de cada región a la productividad total, sino

que se facilita la toma de decisiones en torno a la importancia de una región como productora de un bien de consumo.

En primer término, es necesario comprender los factores que influyen en la respuesta espectral de la plantación cañera por sensores remotos (Moura, 2003); para la Huasteca Potosina se tiene la ventaja de que no existe otro usos de suelo donde existe en las áreas colindantes con la zona cañera. La identificación y mapeo de áreas bajo el cultivo de la caña de azúcar permitiría dar seguimiento a través del tiempo a las tendencias en el crecimiento y propagación de la zona cañera. Aunque el uso de los sensores remotos no sustituiría a los levantamientos topográficos que realizan los ingenios al momento de adquirir nuevas tierras, si permitiría tener un panorama a nivel regional del crecimiento de la zona y de las áreas potenciales de expansión.

Por todo lo hasta aquí referido, el objetivo de este trabajo fue generar un sistema de información para establecer indicadores de competitividad y actualizar el inventario de las zonas de abasto de materia prima de los cuatro ingenios azucareros de la Huasteca Potosina (San Miguel del Naranjo, Alianza Popular, Plan de Ayala y Plan de San Luis) y representar espacialmente los parámetros productivos del cultivo de caña de azúcar mediante técnicas geomaticas (percepción remota, sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio)

2.4. Fundamentos bioquímicos, fisiológicos y anatómicos de las propiedades de reflectancia de cultivos agrícolas en percepción remota

Los dos componentes del rendimiento de caña de azúcar son la cantidad de sacarosa y la producción de biomasa; incrementar uno o ambos eleva el rendimiento. La biomasa puede incrementarse al maximizar la captura de radiación o al incrementar la eficiencia de la fotosíntesis o ambas cosas; estos factores son responsables de hasta el 4 % de la variación en el rendimiento de campo (TCH), 5 % del azúcar recuperable (kg sacarosa /tonelada) y 7 % del rendimiento agroindustrial (TSH) (Gilbert *et al.* 2006).

En el dosel de un cultivo, como caña de azúcar, a diferencia de un dosel de vegetación primaria o secundaria, la distribución espacial depende de la acción humana y es generalmente simétrica y uniforme. El desarrollo del dosel de caña difiere significativamente en función del tipo de variedad, el ciclo (plantilla, soca o resoca), la época de plantación o rebrote, el espaciamiento entre cepas, los factores ambientales, la densidad de plantación de cepas, y las prácticas de manejo; así, el desarrollo del dosel puede controlarse mediante el conocimiento de la interacción entre esos factores con los agroclimáticos para favorecer la formación de nuevos brotes y hojas, y evitar la senescencia temprana de las hojas y la disminución de la fotosíntesis (Soares *et al.*, 2008, Singels, 2005 y Smith, 2004). Tres de ellos (la distribución del área foliar, el tamaño de la hoja y la radiación dentro del dosel de la planta) están relacionados con el proceso fotosintético. Inman-Bamber (1994), concluyó que el desarrollo del área foliar (LAI o IAF; es decir, la superficie o área de follaje sobre un metro cuadrado de suelo) es crucial para maximizar la captura de radiación solar y la acumulación de biomasa en el rendimiento cañero. El desarrollo del dosel de caña de azúcar es lento en comparación con los demás cultivos anuales y la producción de sacarosa por año puede reducirse considerablemente

si la temporada de cosecha se ve limitada por plagas u otros factores como deficiencia de nutrimentos y estrés hídrico. Esto genera pérdida de turgencia y una disminución de la tasa de crecimiento y puede afectar severamente la productividad.

Willstätter y Stoll (1913) desarrollaron los primeros trabajos sobre el mecanismo de interacción de la energía radiante con las hojas a diversos estados de estrés como factor limitante del desarrollo del dosel cañero. Actualmente Gonçalves (2010); Thorp (2010); Govender *et al.* (2009) y Elwadie (2005) citan numerosos trabajos que demuestran la influencia del estrés hídrico sobre el intercambio gaseoso, radiación fotosintéticamente activa (PAR), productividad y el balance hídrico y energético de los cultivos sobre todo en caña de azúcar, maíz, sorgo, trigo, algodón y otras gramíneas C₄, por lo que bajo condiciones de estrés hídrico grave se provoca el cierre estomático y por lo tanto una reducción en la tasa de transpiración, lo que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal. En síntesis, la radiación y la humedad son los parámetros meteorológicos básicos de importancia para la agricultura cañera. Bajo condiciones adecuadas de humedad y fertilidad, la radiación asume el papel decisivo para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Para Elwadie (2005); Curran (2001 y 1989) y Baret *et al.* (1994), las fuerzas motrices del desarrollo de metodologías y la aplicación de la espectroscopía y la percepción remota en la agricultura, son la información sobre la composición química foliar y las propiedades ópticas (reflectancia, transmitancia y absorción). El medir e interpretar las propiedades espectrales de las plantas para describir la interacción de la energía radiante de la hoja y la química foliar derivada de esta (es decir, al detectar la concentración de constituyentes bioquímicos foliares asociados a niveles de estrés nutricional e hídrico) permitirá comprender las complejas interacciones entre los múltiples factores que afectan el crecimiento del cultivo como base de cualquier sistema de gestión y manejo agrícola.

Esta conclusión se basa en el hecho de que la respuesta espectral de una hoja o dosel es la suma de las propiedades espectrales de cada componente con su ambiente y que la interpretación de los datos obtenidos por percepción remota requiere una comprensión de cómo los mecanismos físicos, ambientales y bioquímicos de las hojas y el dosel interactúan con el suelo para producir la señal medida (Asner, 1998). Es decir, las propiedades espectrales son función de los cambios dinámicos que se dan en las componentes de la mezcla suelo-vegetación, y son dependientes de la geometría de la siembra y de las diferencias entre las plantas individuales, particularmente para cultivos con baja cobertura (Zarco-Hidalgo, 2008) y, a medida que se aproxima al límite de la escala de la parcela, la variabilidad espacial se reduce. Algo similar se observa a nivel de las reflectancias. Es así como la teledetección, que antes era considerada como una "técnica", se ha ido convirtiendo poco a poco en una ciencia interdisciplinaria en pleno desarrollo (Daughtry *et al.*, 1982).

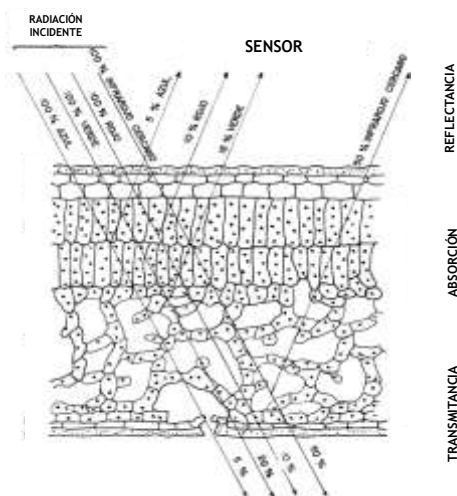
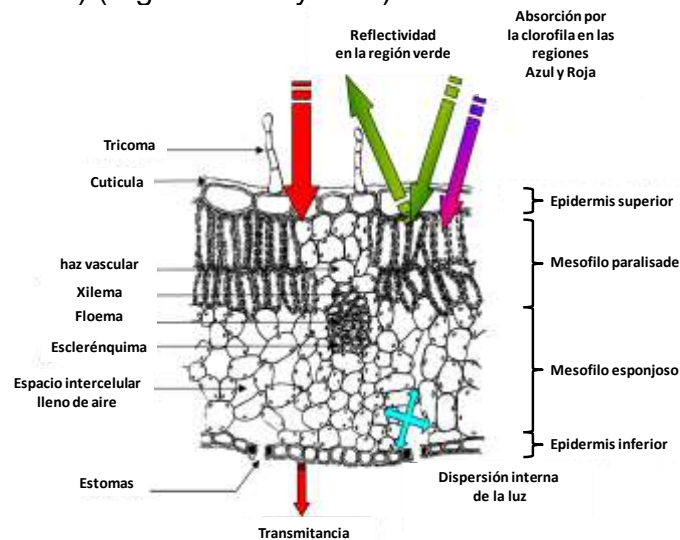
Por lo tanto, la manipulación de la energía radiante en función de la geometría del campo de cultivo (orientación de filas y distancia entre surcos), puede crear condiciones eficientes de saturación de luz y energía solar en el dosel del cultivo para la producción agrícola; es decir, la interacción de la radiación solar con las moléculas foliares de las plantas define la reflectancia en el espectro visible (VIS) e infrarrojo (IR). Los componentes bioquímicos

(pigmentos, almidón, proteínas, hemicelulosas, celulosa, grasas, agua), la morfología de la hoja (mesófilo) y su arquitectura, influyen en la tendencia de las plantas para absorber, transmitir y reflejar la radiación solar de distintas longitudes de onda desde 280 a 2800 nm, y están directa o indirectamente relacionados a los ciclos biogeoquímicos y a los macro y micro nutrientes (Thorp, 2010, Huber, 2008, Shengyan, 2002, Curran *et al.*, 2001).

En este sentido, Schaepman, (2009, 2005); Koetz, (2005) y Yang (2002) establecieron que una hoja puede ser descrita como una estructura difusa y pigmentada (mesófilo) con placas exteriores de células de epidermis con una cubierta protectora (cutícula); membrana extracelular de múltiples capas de pectina, celulosa, cutina y cera. Para Huber, (2008) la porción más externa de la cutícula consiste de ***cera epicuticular***, que puede ser extremadamente delgada o gruesa y sus características espectrales son una función de las propiedades ópticas, térmicas y dieléctricas de los elementos constituyentes de los tejidos de la hoja y su distribución, área del cultivo, características biofísicas y geométricas del dosel y la corona (altura de la planta, acame) orientación, posición en el espacio, ángulo de incidencia solar e inclinación de las hojas, altitud, latitud, condiciones atmosféricas, heladas, nubosidad y de iluminación y sombra, metales pesados, herbicidas, exceso o deficiencia de agua, nitrógeno, malezas, plagas de insectos, condiciones fitosanitarias y otros que determinan la interacción de los fotones con todas las partes de la planta (hojas, tronco, hojas senescentes, etc.), y aun con el suelo en dos aspectos fundamentales de acuerdo con Terashima (1995): i) la homogeneización del dosel al medio ambiente luminoso y (ii) la aclimatación de las hojas y los cloroplastos a su medio ambiente luminoso local. Estos factores incrementan la eficiencia de la fotosíntesis considerablemente

La fotosíntesis de las hojas de la planta de caña de azúcar, es dependiente de las propiedades ópticas de las plantas individuales y del flujo luminoso; bajo total iluminación la parte aérea de las hojas es sobresaturada con luz, mientras que existen condiciones de no saturación en lo profundo del dosel. Como consecuencia de esta situación, a nivel planta, el rendimiento está limitado a la cantidad de luz absorbida, transmitida o reflejada al interior que puede penetrar dentro de las hojas del dosel (Farias, 2008 y Soares *et al.*, 2008). Con este fin, los mecanismos de transporte de fotones dentro de los tejidos foliares, hacen necesario comprender los fenómenos biológicos y las características estructurales de estos tejidos y sus componentes; factores como la presencia y distribución de pigmentos en el interior de los tejidos, tienen un impacto significativo en cómo las hojas propagan y absorben la luz. Los pigmentos habituales encontrados en las hojas son la clorofila (Chl) y los carotenoides. El más importante y abundante de estos pigmentos es la clorofila (considerado como un bioindicador genérico del estado de salud, productividad, estrés y senescencia de las hojas y el dosel) tipo a y b (Cab); estas dos formas muestran espectros de absorción similares. Los carotenoides son un grupo de pigmentos que, en las plantas superiores, por lo general son de color rojo, naranja, amarillo o marrón, y se asocian con la clorofila en los cloroplastos; su contenido en las hojas de las plantas es un indicador de su capacidad fotosintética y productividad, así como de la presencia de estrés o enfermedad. Asimismo da una estimación indirecta de la situación de los nutrientes porque gran parte del nitrógeno de la hoja se incorpora en la clorofila en tiempo y espacio (Wah Liew, 2008).

El espectro de reflectancia de plantas adultas y sanas se caracteriza por una fuerte absorción (baja reflectancia) en el azul (400-500 nm), un incremento en la reflectancia en el verde (500-600 nm), como pico máximo a 0,54 nm y no excede del 20% del total incidente. Absorción en el rojo (600-700 nm) y una fuerte reflectancia y transmitancia (50 %) en la meseta del infrarrojo cercano (NIR) 700 a 1500 nm. La respuesta en reflectancia en la región VIS (400-700) esta gobernada en las plantas por el efecto y comportamiento de las clorofilas, carotenos (α y β -caroteno y xantofilas) y antocianinas (AnC); los pigmentos rojos de las plantas, previenen el foto envejecimiento y la foto inhibición a través de la absorción de la radiación solar excesiva que de otro modo sería absorbida por los pigmentos de los cloroplastos (Los cloroplastos contienen 70% del nitrógeno de la hoja, el resto se localiza en las lipoproteínas); son mayormente abundantes en hojas juveniles y senescentes, y su distribución en los tejidos de la hoja varía considerablemente entre las especies. Como regla general, se localizan en las vacuolas celulares debajo de la epidermis adaxial, parénquima en **empalizada y el mesófilo esponjoso** (Merzlyak, 2008 y Brizuela et al. 2007) (Figuras 2.16 y 2.17).



Figuras 2.16 y 2.17. Interacción de la luz con las capas celulares de la hoja (Wah Liew, 2008)

En relación con lo anterior, Monteith (1976) describió las características ópticas comunes al tejido foliar en especies de cultivo:

- a). *En el espectro visible la reflectancia es alrededor de 10% y la transmitancia es menor.*
- b). *Tanto la transmitancia como la reflectancia se incrementan para la radiación arriba de 660 nm, alcanzando valores máximos en 730 nm.*
- c). *En el rango 730-1250 nm la absorbancia no es mayor a un 5%, mientras que la transmitancia y reflectancia se reparten de manera casi equitativa el restante 95%.*
- d). *En el rango 1250-2500 nm se presenta un marcado incremento en absorbancia (incluyéndose aquí el rango de absorción del agua 1400-1900 nm), que puede variar de 30% hasta 90%.*

En este sentido, Blackburn, (2008) y Curran, (1989) concluyeron que la respuesta en el infrarrojo está determinada por las discontinuidades entre las paredes celulares y por los espacios con aire intercelulares en la estructura interna de la hoja y a 970, 1200, 1450, 1600, 1950 y 2500 nm es debida al agua. A nivel del dosel Feng *et al.* (2008) afirman que la reflectancia normal es baja en la región entre 480 y 680 nm debido a la absorción de la clorofila y otros pigmentos, y alta en el NIR debido a la estructura microcelular de la hoja y a la estructura del dosel.

La senescencia foliar produce fluctuaciones significativas en tres regiones del espectro en el rango de 450 y 2500 nm: 1) entre 450 y 750 nm derivados de los cambios de la clorofila y otros pigmentos (425, 450 y 480 nm β -caroteno, 420, 440 y 470 nm α caroteno y 425, 450 y 475 nm para xantofilas) y antocianinas y el desarrollo de **clorosis**, 2) entre 750 y 1400 nm en el cual la estructura geométrica interna y dimensiones de las hojas, por cambios en la orientación y disminución del área foliar y del dosel, es el factor dominante principalmente en los cloroplastos y vacuolas y 3) entre 1400 y 2500 nm derivado del contenido de agua como consecuencia del secado y el incremento de los valores del suelo (Boyer, 1988 y Knipling, 1970), lo que Pellegrino (2001) mencionó para caña de azúcar: la cantidad de hojas verdes disminuye y la paja u hojas secas se hacen visibles y empieza a influir en el valor de reflectancia de la superficie y al incremento en el índice refractivo de la capa del mesófilo cuando el agua es reemplazada por aire y por los efectos indirectos de la sequía en la hoja, como la disminución del índice de área foliar o las sombras debidas al rizado de la hoja. (Figuras 2.18 y 2.19).

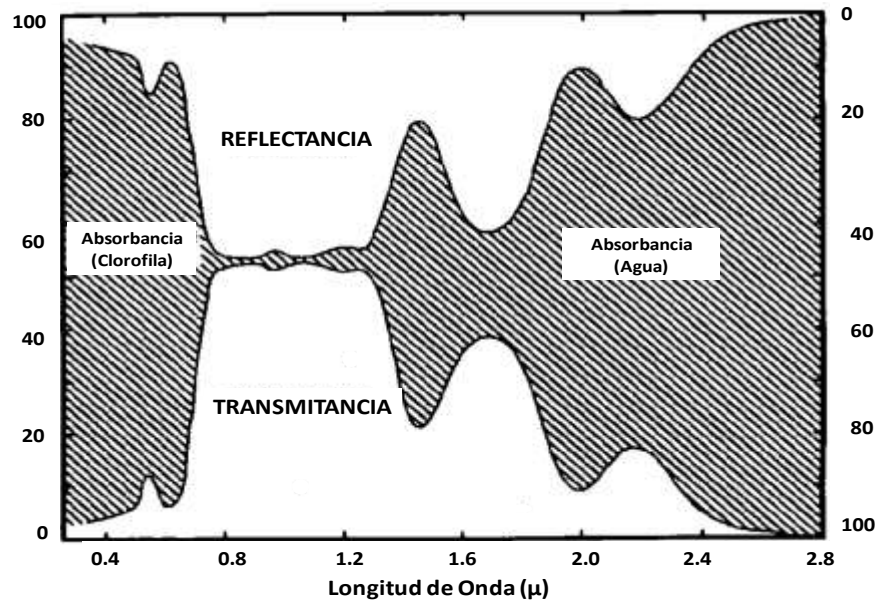


Figura 2.18. Espectro de reflectancia, transmitancia y absorbancia (%) de las plantas (Knipling, 1970)

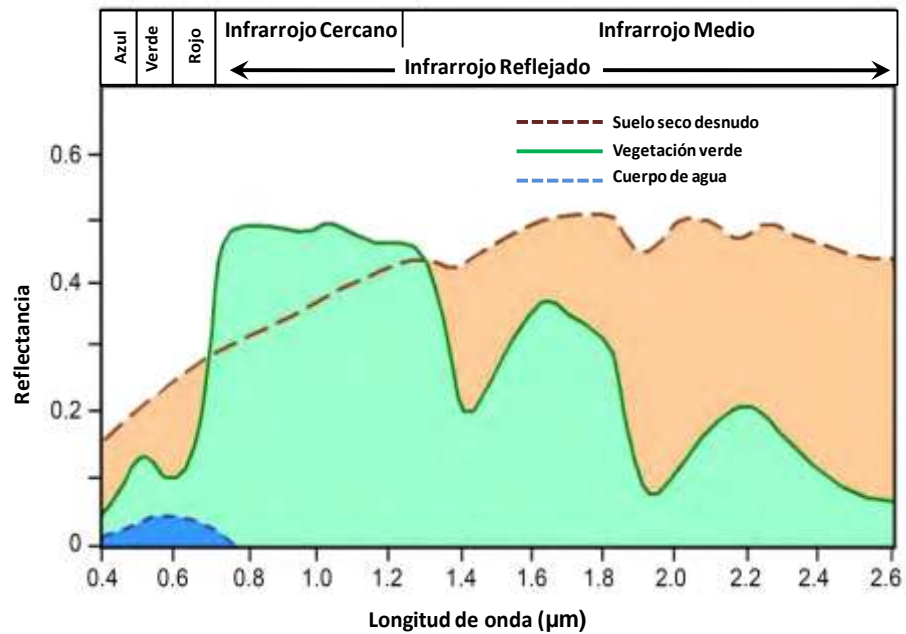


Figura 2.19. Firmas espectrales del suelo desnudo y seco, vegetación verde y agua clara (Govender 2007 y Smith, 2003)

Zhao et al. (2010); Delegido *et al.* (2009); Adam *et al.* (2009); Majeke, (2008); Zarco-Tejada (2007) y Wulder (1998) definieron que el conocimiento de la cantidad de clorofila en hojas y dosel es fundamental tanto en estudios forestales o agronómicos como ambientales, debido a que puede ser usada como indicador de la capacidad fotosintética del dosel. Por ello se han desarrollado distintos métodos para su estudio y definición en

varias regiones del espectro (Gitelson *et al.*, 2003), tanto a nivel de hoja (espectrofotometría) como por percepción remota (teledetección) y se emplean una gran variedad de índices que relacionan la reflectividad obtenida por sensores a diversos tipos de arquitecturas del dosel en distintas bandas como:

- Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI):

$$\text{MCARI} = [(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})] R_{700} / R_{670}$$

Donde R_{λ} es la reflectividad en la banda de longitud de onda λ (en nm)

- Transformed CARI (TCARI):

$$\text{TCARI} = 3[(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})R_{700} / R_{670}]$$

- MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI):

$$\text{MTCI} = [(R_{750} - R_{710}) / (R_{710} - R_{680})]$$

- Triangular Chlorophyll Index (TCI):

$$\text{TCI} = 1,2(R_{700} - R_{550}) - 1,5(R_{670} - R_{550})(R_{700} / R_{670})^{1/2}$$

- Red – edge model (R-M):

$$R-M = R_{750} / R_{720} - 1$$

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

$$\text{NDVI} = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$$

“Green” NDVI:

$$\text{NDVI}_{\text{Green}} = (R_{750} - R_{550}) / (R_{750} + R_{550})$$

- Normalized Area Over reflectance Curve (NAOC):

$$\text{NAOC} = 1 - \frac{\int_{643}^{795} R \, d\lambda}{152 R_{795}}$$

Para el autor, el mejor índice para obtener directamente el contenido en clorofila en hojas a partir de una imagen hiperespectral es el NAOC; los índices MCARI, TCARI y TCI están fuertemente correlacionados entre sí y la arquitectura del dosel (Zhao *et al.* 2010). Existe correlación entre el NDVI y el NAOC, pero esta correlación se rompe para valores altos de NDVI y NAOC que corresponden a la vegetación verde. Curran (1989) había descrito que la transición de los electrones en las moléculas de clorofila ocurre a 430, 460, 640 y 660 nm; por tanto, la clorofila es un absorbente efectivo del espectro azul (400-500 nm) y rojo (600-700 nm) y es precisamente donde los electrones de las moléculas absorben

longitudes de onda controladas por estructuras y enlaces químicos a través de la vibración molecular (rotación, flexión y estiramiento) de los enlaces (CH, NH, OH, NC y CC) (Kumar *et al.*, 2001).

Sin embargo, Datt (1998) mencionó que es posible estimar la clorofila a y a+b y el total de carotenoides con el índice $R_{672}/(R_{550} \times R_{708})$ y R_{672}/R_{550} para clorofila b. Esto coincide con Sims and Gamon (2002) quienes propusieron índices a R_{750}/R_{700} , $(R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})$. Para (Carter y Knapp, 2001) las propiedades ópticas de la hoja en una banda espectral relativamente estrecha, alrededor de 700 nm (690–725 nm) son cruciales para la detección de estrés vegetal y para la estimación de la concentración de clorofila de las hojas. Para Hatfield *et al.* (2008) la relación entre los índices espectrales y el contenido de clorofila puede estar influida por la presencia de los otros pigmentos de la hoja y debe relacionarse con los cambios fisiológicos que se producen en la planta cuando varía su contenido hídrico. España-Boquera (2006) afirmó que un índice muy utilizado por su buena correlación con el contenido de clorofila es el Red Edge (700-740 nm) el cual corresponde con la longitud de onda en la que se produce el cambio brusco entre la fuerte absorción de luz en el rojo (R) y la fuerte reflexión en el infrarrojo cercano (NIR)

Para Adam *et al.* (2009), Wah Liew (2008) e Imanishi (2004) el límite o borde rojo (Red Edge REP) es la mayor pendiente entre la reflectancia baja en la región del visible VIS y la reflectancia alta en la región del infrarrojo cercano (NIR), en el rango entre 670 y 780 nm, y es producto de la fuerte absorción de la clorofila en la región del rojo y la alta reflectancia en el infrarrojo (IR) debido a la dispersión de la energía en el mesófilo de la hoja. el movimiento del límite rojo hacia las longitudes de onda más cortas es un buen indicador de senescencia o estrés inducido en plantas, debido a que se genera una reducción en la concentración de clorofila, de igual forma el desplazamiento del REP ocurre como respuesta a estrés causado por diferentes agentes, este se puede dar hacia las longitudes de onda cortas o largas y se denomina desplazamiento azul (blue shift) o desplazamiento rojo (red shift) respectivamente; este desplazamiento obedece a que la vegetación estresada produce una disminución en la absorción de energía por las clorofilas derivada de cambios estructurales de las células en la hoja; esto se expresa como una reducción en la reflectancia en el IR simultáneamente con un incremento en la reflectancia en el rojo (Curran, 1990).

Cuando es el caso contrario y se incrementa la concentración de clorofila en la planta se produce una polimerización de moléculas clorofila-clorofila y posiblemente clorofila-proteína, lo cual ocasiona menor profundidad y mayor amplitud en las características de absorción de la clorofila (Ayala-Silva, 2005). Es decir, la posición del punto de inflexión en la región del límite rojo (680 a 780 nm) de reflectancia espectral, llamada posición del límite rojo (REP red edge position), es afectada por factores bio-físico-químicos, y es útil para estimar la cantidad de nitrógeno, clorofila y demás componentes en las hojas. Adam *et al.* (2009); Hatfield *et al.* (2008); Fourty (1996) y Curran (1989) elucidaron y concluyeron que esta respuesta espectral se debe al estiramiento y flexión de los enlaces covalentes del grupo OH⁻ y a la transición de electrones a diversas longitudes de onda (0.97, 1.20, 1.40, 1.94 nm), así como fuertemente en el ultravioleta (< 0.4 nm) y en el infrarrojo medio (> 2.4 nm) derivado de las vibraciones de los enlaces (β 1→4, β 1→3, β -O-4, α -O-4, 4-O-5) entre los átomos de hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno y carbono (C) y entre las

moléculas de azúcares (D-xilosa, L-arabinosa, D-galactosa, D-manosa, L-ramnosa, fructosa, α y β glucosa), lignina (alcohol p-cumarílico, coniferílico y sinapílico), celulosa (β -D-glucosa), hemicelulosas (glucuronoxilano acetilado, β -D-xilopiranosas, α -L-Fucosa, glucomanos, arabinoglucuronoxilanos, galactoglucomanos), ácidos urónicos (ácido D-glucurónico, y ácido D-galacturónico), resinas (extraíbles lipofílicos e hidrofílicos), pectinas y proteínas, al ion central Mg^{+2} en la molécula de clorofila y a la presencia de un grupo metilo en la clorofila a en lugar de un grupo aldehído en la clorofila b en la posición C-7 que establece las diferencias en las longitudes de onda de absorción para cada grupo funcional (669 & 644 nm) y (432 & 455 nm) respectivamente (Cuadro 2.7)

Cuadro 2.7. Propiedades espectrales de los componentes bioquímicos de las hojas (Adam *et al.*, 2009, Hatfield *et al.*, 2008, Kumar *et al.*, 2001, Fourty, 1996, Curran 1989 y Himmelsbach *et al.*, 1988)

λ (μm)	Mecanismo	Molécula	λ (μm)	Mecanismo	Molécula
0.43	Transición e^-	Clorofila a y b	0.46	Transición e^-	Clorofila a y b
0.64	Transición e^-	Clorofila b	0.66	Transición e^-	Clorofila a
0.91	Estiramiento C-H	Proteínas	0.93	Estiramiento C-H	Grasas
0.97	Flexión O-H	Almidón, H_2O	0.99	Estiramiento O-H	Almidón,
1.02	Flexión N-H	Proteínas	1.04	Estiramiento y deformación C-H	Grasas
1.12	Estiramiento C-H	Lignina	1.20	Flexión O-H	Celulosa, almidón, H_2O , Lignina
1.40	Flexión O-H	H_2O	1.42	Estiramiento y deformación C-H	Lignina
1.45	Estiramiento O-H, C-H y deformación C-H	Almidón, pentosas, hexosas, lignina, H_2O	1.47	Estiramiento O-H	Celulosa, pentosas y hexosas
1.49	Estiramiento O-H	Celulosa, pentosas y hexosas	1.5	Estiramiento O-H	Celulosa
1.51	Estiramiento N-H	Proteínas, nitrógeno	1.53	Estiramiento O-H	almidón
1.54	Estiramiento O-H	Celulosa, almidón	1.58	Estiramiento O-H	Almidón, pentosas y hexosas
1.67	Estiramiento O-H y C-H	Lignina, almidón, proteínas	1.73	Estiramiento O-H	Celulosa
1.76	Estiramiento O-H	lignina	1.78	Estiramiento O-H deformación H-O-H	Celulosa, Almidón, pentosas y hexosas
1.82	Estiramiento O-H y C-O	celulosa	1.90	Estiramiento O-H y C-O	Almidón
1.94	Estiramiento y deformación O-H	Celulosa, proteínas, H_2O , Lignina, nitrógeno, almidón	1.96	Estiramiento O-H	Almidón, pentosas y hexosas
1.98	Asimetría N-H	Proteínas	2.00	deformación O-H y C-O	Almidón
2.06	Flexión N=H, Estiramiento N-H	Proteínas, nitrógeno	2.08	Estiramiento y deformación O-H	Almidón, pentosas y hexosas
2.10	Flexión O=H, Estiramiento C-O	Celulosa, Almidón	2.12	Rotación O=H, Estiramiento C=O	Celulosa, Almidón
2.13	Estiramiento N-H	proteínas	2.18	Flexión N-H, C-H, C-O, C=O y C-N	Proteínas, nitrógeno
2.2	Rotación N-H, Estiramiento C-H, C-O, C=O, N-H	Proteínas, nitrógeno	2.24	Estiramiento C-H	proteínas
2.25	Estiramiento y deformación O-H	Almidón	2.26	Estiramiento O-H, CH_2 y Rotación CH, CH_2	Celulosa, Almidón
2.27	Estiramiento C-H, C=C, O-H, CH_2 y Flexión CH_2	Celulosa, Proteínas, Lignina Almidón, pentosas y hexosas	2.28	Estiramiento C-H, deformación CH_2	Celulosa, Almidón
2.30	Estiramiento N-H, C=O y Flexión C-H	Proteína, nitrógeno	2.31	Flexión C-H	Grasas
2.32	Estiramiento C-H, deformación CH_2	Almidón, celulosa	2.34	Estiramiento C-H, O-H y deformación O-H, C-H	Celulosa
2.35	Flexión CH_2 deformación C-H	Celulosa, proteínas, nitrógeno	2.36	Rotación CH_2 deformación C-H	Celulosa, proteínas, nitrógeno

2.5. Modelos agrícolas en percepción remota

Los modelos de cultivos han sido diseñados para combinar la variabilidad climática, y las respuestas de las propiedades físico-químicas del suelo y fisiológicas de la vegetación, para explicar las diferencias de la vegetación ante el estrés, el crecimiento del dosel, y la productividad. Existen muchos modelos para predecir cómo las cosechas responden al clima, nutrientes, agua, luz, plagas, etc. (Zhao *et al.*, 2010, Thorp, 2010 y Curran, 2001).

Las técnicas de percepción remota y el desarrollo de modelos para determinar la composición bioquímica foliar, para el monitoreo de la productividad de cultivos a nivel unidad productiva y escala regional, fueron desarrolladas a gran velocidad durante 1980 y 1990, principalmente en dosel forestal y posteriormente en cereales. Inoue (2008) y Colombo *et al.*, (2003) afirman que conceptos avanzados, metodologías, y numerosos logros en la agricultura de precisión, como parte de la evaluación del funcionamiento fotosintético, se han aplicado a diversos tipos de modelos de ecosistemas naturales y de cultivos; actualmente este es uno de los fundamentos tecnológicos para el diagnóstico y predicción del crecimiento de las plantas, así como del intercambio de carbono entre los ecosistemas y la atmósfera.

Fourty (1996) estableció que el conocimiento de la información química del dosel puede proporcionar información crítica para describir y predecir la productividad y los procesos de descomposición y ciclo de nutrientes de los agroecosistemas en el sistema atmósfera-vegetación-suelo.

Majeke (2008) definió que el conocimiento de la composición bioquímica foliar es fundamental para describir, comprender, predecir y modelar el comportamiento de los ecosistemas debido a que los procesos ecológicos que involucran el intercambio de materia y energía están relacionados a componentes bioquímicos y a un estatus nutricional en los que los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y molibdeno) son básicos para el desarrollo y productividad de las plantas agrícolas. Es decir, la mayor aplicación de los datos del análisis en un espectrómetro o en un satélite de percepción remota es la generación de imágenes que estén estrechamente vinculadas a la química y fisiología de la cubierta vegetal, donde los cambios puedan ser rastreados e interpretados de manera precisa a través del tiempo.

Este conocimiento es crucial para desarrollar relaciones precisas entre las propiedades ópticas y las características funcionales de la hoja, o para mejorar los modelos que se utilizan directamente para interpretar los datos de percepción remota, cuando estos se combinan con modelos de cobertura y cartografía de la actividad fotosintética de la planta desde el espacio para la evaluación de la productividad en el contexto de agricultura de precisión (Thorp, 2010; Adam *et al.*, 2009; Schaepman, 2009; Jacquemoud, 2009; Hatfield *et al.*, 2008 y Nagendra, 2008) (Figura 2.20).

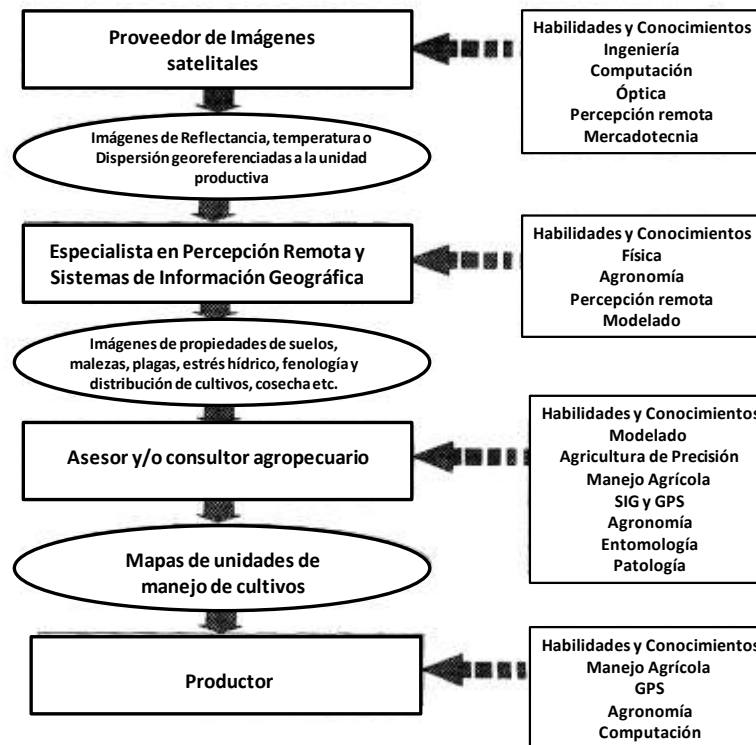


Figura 2.20. Infraestructura para la adopción generalizada de gestión en agricultura de precisión (Moran, 1997).

Ustin (2001) estableció que, a pesar de la extensa literatura sobre las características ecofisiológicas referentes a la forma de la hoja y su función, la mayoría de los estudios no han ido más allá de la identificación cualitativa y la evaluación de la productividad de ecosistemas agrícolas y forestales, sin examinar los fundamentos de los patrones observados entre la estructura interna de la hoja y la orientación y función fisiológica. Así, la mayoría de estos estudios han quedado a nivel de prototipos.

Los estudios han logrado determinar con precisión los fenómenos complejos relacionados al interior de la hoja con la composición bioquímica y las características anatómicas que causan atenuación de la luz, en particular en el espectro visible de la radiación fotosintéticamente activa (PAR); no obstante, no se refieren expresamente a la relación estructura/interacción de los fotones en la hoja, orientación y el potencial fotosintético, debido a que las hojas son estructuras complejas que regulan la absorción de la luz en múltiples niveles, desde la construcción biofísica hasta la orientación. En este sentido, la bibliografía existente desde los trabajos de Kumar (1973) consiste en relacionar, de manera simple, los índices espectrales con las características de la hoja y el dosel, y simular cómo los procesos fisiológicos son alterados por la orientación y la captura de la radiación solar que inducen a la planta a expresar su potencial de manera diferencial.

Jacquemoud (2001) afirmó que una simple relación f se establece entre el componente bioquímico de interés C y las propiedades ópticas de las hojas:

$$C = f(\rho(\lambda_1), \dots, \rho(\lambda_n))$$

Sin embargo, para Dorigo *et al.* (2007) la exactitud de las estimaciones carece de robustez porque estas relaciones no tienen en cuenta las diferencias anatómicas estructurales entre las hojas o los otros pigmentos (carotenoides, antocianinas, etc.) que también absorben la luz; por ello, se han desarrollado diversos modelos para representar la interacción de la luz con las hojas. Estos modelos se distinguen por la complejidad; consideran a la hoja como una simple capa de dispersión y absorción de la luz, y todas las células se describen en detalle (forma, tamaño, posición, y contenido bioquímico); son esenciales para entender cómo interactúa la radiación electromagnética con los elementos de la hoja, y para relacionar directamente las propiedades ópticas de la hoja para la detección de parámetros ópticos no influyentes, como el nitrógeno (o proteína) contenido en las hojas frescas. Entre estos modelos se encuentra el Modelo de Placas (Allen *et al.*, 1969) que representa a la hoja como una o varias placas compactas absorbentes con superficies rugosas que dan lugar a la difusión isotrópica. La luz incidente es parcialmente reflejada, absorbida o transmitida. Posteriormente el mismo autor desarrolló el Modelo de flujo N que considera a la hoja como una capa de difusión y un material de absorción de N placas separadas por espacios N-1 del aire (Figura 2.21).

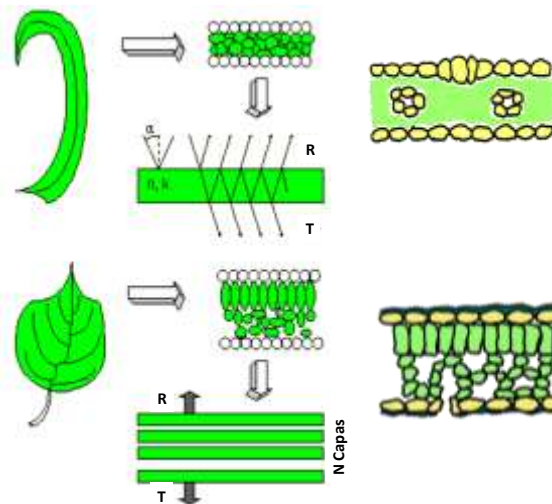


Figura 2.21. Modelo de reflectancia de la hoja (Jacquemoud, 2001)

Por otro lado, Baranoski (1997) propuso el modelo de interfases o paredes aire-célula (Figura 2.22) en el que un rayo impacta una hoja que se puede expresar en el estado 1 (interfaz 1) o el estado 4 (interfaz 4) o es refractada hacia el interior de la hoja. Luego puede ser reflejado o refractado varias veces hasta que se absorbe en el estado 2 o sale de la hoja en los estados 1 o 4.

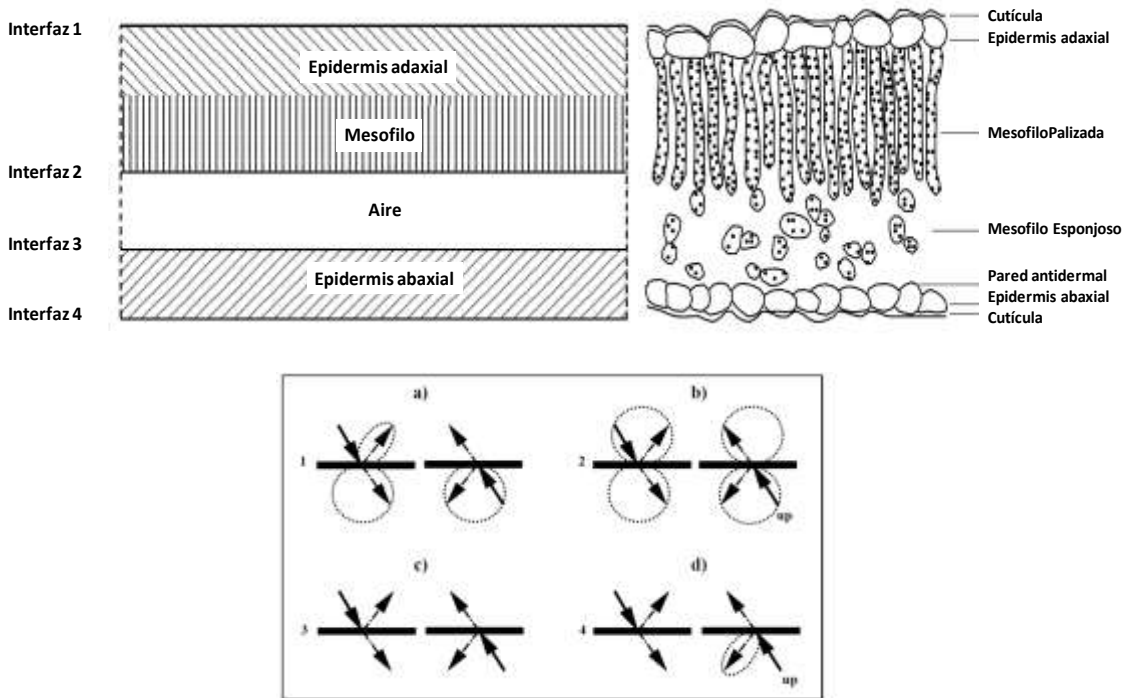


Figura 2.22. Modelo de interfases y tejidos, a) Interfaz 1. b) Interfaz 2. c) Interfaz 3. d) Interfaz 4 (Baranoski (2000 y 1997))

Otros modelos de transferencia radiactiva como el estocástico y el *ray-tracing*, dividen la hoja en diferentes tejidos y sus propiedades ópticas presentan una descripción detallada de la estructura interna de la hoja y las constantes ópticas del material foliar (Figura 2.23)

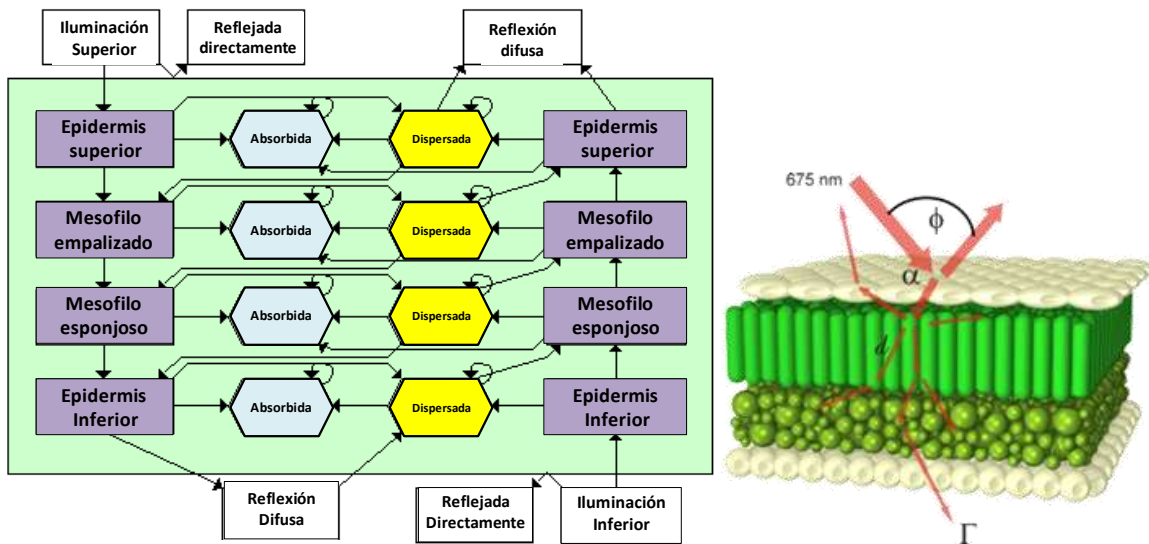


Figura 2.23. Modelo de reflectancia de la hoja (Jacquemoud, 2009).

En caña de azúcar, la gestión ambiental del cultivo ha venido exigiendo la predicción del comportamiento de la producción y el riesgo ambiental en los distintos niveles de control en el cultivo comercial, ya que las formas de manejo del suelo, la profundidad y la densidad de plantación, riego, clima, control de la maduración, plagas y enfermedades, etc., como sistemas complejos, requieren la construcción de modelos que cumplan los siguientes objetivos:

- Estimación de crecimiento y rendimiento agrícola potencial para diversos ciclos y variedades, basados en las características fisiológicas de la planta. Descripción del comportamiento de los elementos a lo largo de la interfase suelo-raíz-brote bajo diferentes condiciones de suelo y clima.
- Visualización de alternativas de gestión y uso de la tierra, teniendo en cuenta el análisis de los impactos ambientales, para la creación de los mejores escenarios posibles.
- Simulación de la gestión administrativa agrícola en factores relevantes para la productividad de la caña de azúcar (Zhou, 2003, Da Silva, 2001 y Lumsden, 1998)

Existen varios modelos dinámicos que cumplen estos objetivos; dos de los más importantes son: APSIM-Sugarcane (Keating, 2003) y CANEGRO (Inman-Bamber, 1993). Otros modelos son (AUSCANE, CENTURY, Canesim, MOSICAS, SUCRETTE, SUCROS y QCANE) (Galdos, 2010 y O'Leary, 2000).

CANEGRO (*sugarCANE GROwth model*) permite simular las características fisiológicas, dinámica poblacional y relaciones hídricas; existen tres opciones para el cálculo de la evapotranspiración potencial (Figura 2.24). El modelo requiere datos diarios sobre velocidad del viento y temperatura. Los intercambios entre estos tres balances ocurren en las interfases raíz/agua del suelo y dosel/atmósfera. El modelo explica que el estrés hídrico se produce cuando la cantidad de agua necesaria para equilibrar el balance energético es superior a la que las raíces puedan absorber

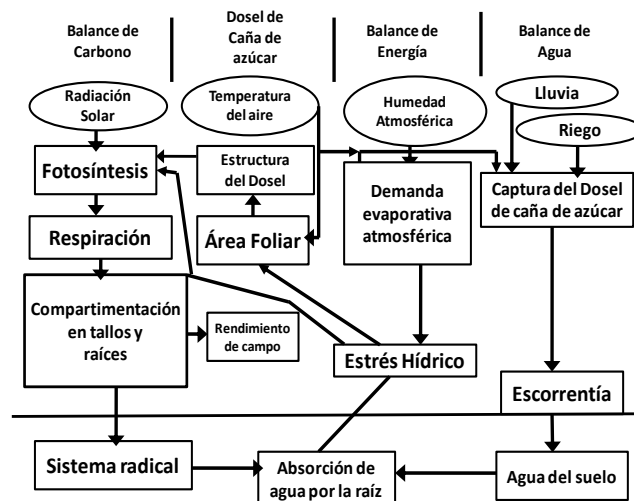


Figura 2.24. Modelo de Balance de carbono, agua y energía y su impacto en el dosel y rendimiento de caña de azúcar en CANEGRO (Inman-Bamber, 1993)

APSIM-Sugarcane (*Agricultural Production System Simulator*)- sugarcane ha sido empleado para evaluar diversas épocas de plantación y etapas fenológicas y ciclos del cultivo, su diseño permite simular el rendimiento de campo, agroindustrial, biomasa, uso del agua y modelar los ciclos de nitrógeno y carbono en la planta a (O’Leary, 2000)(Figura 2.25).

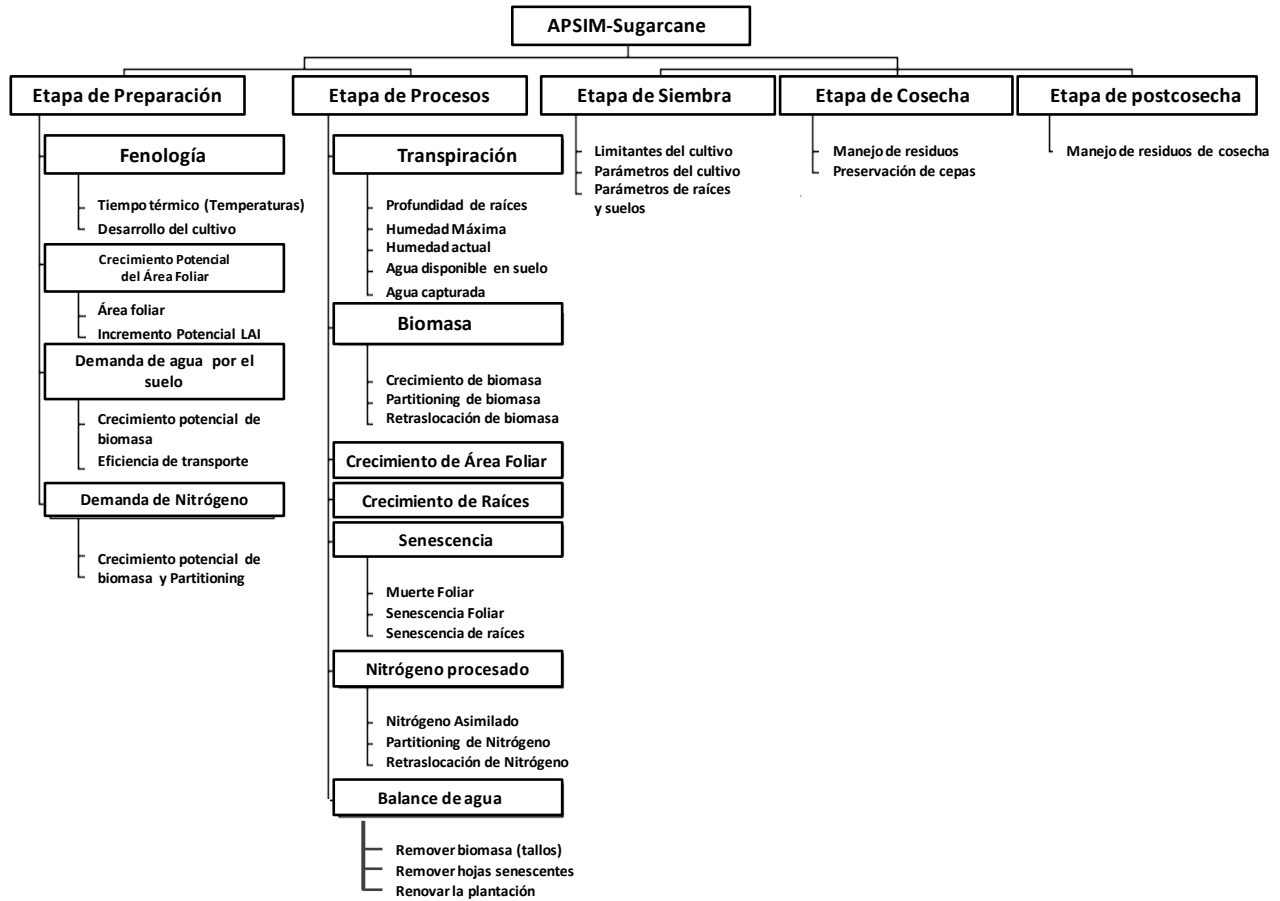


Figura 2.25. Modelo APSIM-Sugarcane (O’Leary, 1999)

Las similitudes y diferencias entre ambos modelos se basan en como abordan los procesos fisiológicos de la planta de caña de azúcar (Cuadro 2.8)

Cuadro 2.8. APSIM-caña de azúcar y CANEGRO (Lisson *et al.* 2005)

Proceso	APSIM-Sugarcane	CANEGRO
Desarrollo fenológico	Cinco etapas: siembra, brotación, emergencia, crecimiento y floración, en unidades térmicas.	No distingue etapas fenológicas.
Crecimiento y senescencia de hojas	Evaluación individual de las hojas (máximo 13) sin considerar tallos, Otros efectos son luz, heladas, y el estrés por H ₂ O y N.	Enfoque individual para hojas y tallos; su población varía con las unidades térmicas y la variedad.
Intercepción de radiación incidente	Estimación del coeficiente de extinción (la tasa de crecimiento relativa del área foliar de la vegetación).	Aproximación por coeficiente de extinción.
Producción total de biomasa	Aproximación por eficiencia en el uso de radiación (RUE).	Aproximación por fotosíntesis y respiración.
Producción de biomasa superior	Cuatro sumideros: la hoja, punto de crecimiento de tallos no molederos, tallos estructurales y sacarosa.	Cuatro sumideros: hojas, tallos, residuos de cosecha y raíces.
Acumulación de sacarosa	La tasa de partición a la acumulación de sacarosa es influenciada por factores de estrés en el tallo de crecimiento, por limitación de agua, nitrógeno y temperatura sobre la fotosíntesis.	Simulación de acumulación de sacarosa es función de la época del año y la variedad.
Contenido de agua en tallos	Es función de la edad del cultivo y de la acumulación de sacarosa.	No simulado.
Crecimiento de raíces	Aumento constante de profundidad de raíces. La partición de biomasa a raíces varía con la etapa de crecimiento.	La partición de biomasa a raíces es acorde con el peso de la planta y el contenido de agua del suelo. Se asume crecimiento constante
H ₂ O	El estrés hídrico reduce la tasa de expansión foliar y RUE a través de dos factores de déficit de agua en el suelo; la demanda de agua es función de la eficiencia de transpiración y del crecimiento	El estrés hídrico reduce la tasa de expansión foliar y la fotosíntesis vía dos factores de déficit hídrico del suelo.
Nitrógeno	RUE, expansión de las hojas; el crecimiento de los tallos es afectado cuando la concentración de N de la hoja cae por debajo del nivel crítico	La fotosíntesis y la expansión foliar es afectada cuando la concentración de N de la hoja cae por debajo del nivel crítico
Ciclo del cultivo	En plantas y soca difieren en RUE, tiempo para germinación y el área foliar de macollos	No se distinguen planta y soca
Efectos del cultivo	Partición de la biomasa en tallos y sacarosa, distribución del tamaño del área foliar	Distribución del tamaño del área foliar, patrón de concentración de sacarosa a través del año
Otras limitaciones	Anegamiento	Ninguna
Procesos del suelo	Agua del suelo, N, residuos presentes en la superficie simulados por módulos vinculados	Agua en el suelo y N simulados como parte del modelo

Sin embargo, los problemas fundamentales en sus usos se derivan, en primera instancia, de la inversión económica de los productores para modelar a nivel predio; esto, junto a las numerosas variables y datos del cultivo requeridos por los modelos, produce resultados poco satisfactorios en nivel regional; y en segundo lugar, los modelos de crecimiento para la previsión de las cosechas de caña de azúcar también podrían dar lugar a estimaciones imprecisas debido a la baja cobertura espacial de las estaciones meteorológicas que

proporcionan los datos de entrada; la estimación de rendimientos puede variar considerablemente debido a que estos modelos se basan solamente en datos climáticos, sin tener en cuenta el estrés causado por otros factores como la deficiencia de nutrimentos, y la incidencia de plagas y enfermedades. Esta información puede variar considerablemente de un punto a otro, y generalmente no está disponible y requiere disponer de los parámetros y de las condiciones iniciales para cada lote (Bezuidenhout y Singels, 2007, Abdel-Rahman *et al.*, 2009).

Por lo tanto, los métodos de monitoreo en tiempo real en caña de azúcar requieren: (1) mejorar nuestra comprensión de la dinámica de los sistemas de producción; (2) servir como un sistema de alerta temprana, lo que permite acciones correctivas o preventivas más oportunas; y (3) proporcionar puntos de referencia para dar seguimiento a los cambios en el rendimiento cañero (Abdel-Rahman, 2010).

En este contexto, la percepción remota puede jugar un papel único por su capacidad de proporcionar en tiempo real, y de forma rápida, sinóptica, y relativamente accesible datos en grandes áreas cañeras, es decir, la percepción remota, como modelo agrícola, permite llevar a cabo mediciones radiométricas ($\approx 400\text{--}2500\text{ nm}$) a gran escala, integrando las características bioquímicas y biofísicas del dosel, donde diferentes datos o información deben ser integrados en diversas escalas combinándola de diversas fuentes, tales como modelos matemáticos y observaciones en el espacio y el tiempo de las variables de interés para obtener resultados confiables (Xie *et al.*, 2008).

Dorigo *et al.* (2007) definieron que la aplicación de la percepción remota en los modelos agrícolas se divide en dos categorías: (I) métodos de base empírica que buscan una relación estadística entre información espectral (reflectancia, absorbancia, y transmitancia) de los cultivos y medidas biofísicas o propiedades bioquímicas del dosel; y (II) métodos físicos que se basan en los principios de propagación de radiación dentro de un dosel agrícola. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones de la percepción remota en la agricultura son enfoques híbridos o una combinación de ambos métodos; el uso de modelos físicos ayuda a establecer la relación estadística entre la señal espectral y los parámetros biofísicos de interés.

Las técnicas de percepción remota son eficaces, rápidas, no destructivas, y accesibles en forma operativa y exacta. Permiten adquirir información de extensas superficies durante una temporada agrícola en numerosas ocasiones para detectar cambios en los procesos fisiológicos y bioquímicos como fijación de carbono, producción primaria bruta (GPP), índice de área foliar (LAI), radiación fotosintéticamente activa (PAR), evapotranspiración (ET), ciclo de nutrientes (N, K, P, Ca, Mg), productividad primaria neta (NPP), materia seca, estrés hídrico, nutrimental o derivado de plagas, malezas o enfermedades; asimismo, permite la identificación de especies, la determinación del estado de salud y vigor vegetal, el posicionamiento in situ, el inventario de cultivos, el análisis de la estructura del dosel, en un amplio margen de escalas al incorporar conocimientos de matemáticas, física, química y biología en un contexto de agricultura de precisión. Es decir, optimizar las prácticas culturales como una función de la variabilidad espacial y temporal dentro de los campos de cultivo, requiere desarrollar métodos capaces de

recuperar con precisión variables biofísicas a nivel dosel registradas de la señal de reflectancia por plataformas de teleobservación (Xie *et al.*, 2008; Elwadie, 2005; Schaepman, 2005; Koetz, 2005).

Para Graeff y Claupein (2003) estos factores determinan, directa o indirectamente, modelos de distribución, dinámica de procesos y desarrollo de los cultivos, y al incorporar los sistemas de información geográfica (SIG) y de geoposicionamiento (GPS) permiten evaluar la función y procesos de agroecosistemas a escala global, regional y local (Figura 2.26); así, se elimina la necesidad de llevar a cabo extensos y costosos muestreos de grandes áreas agrícolas (Adiku, 2006; Fourty, 1996).

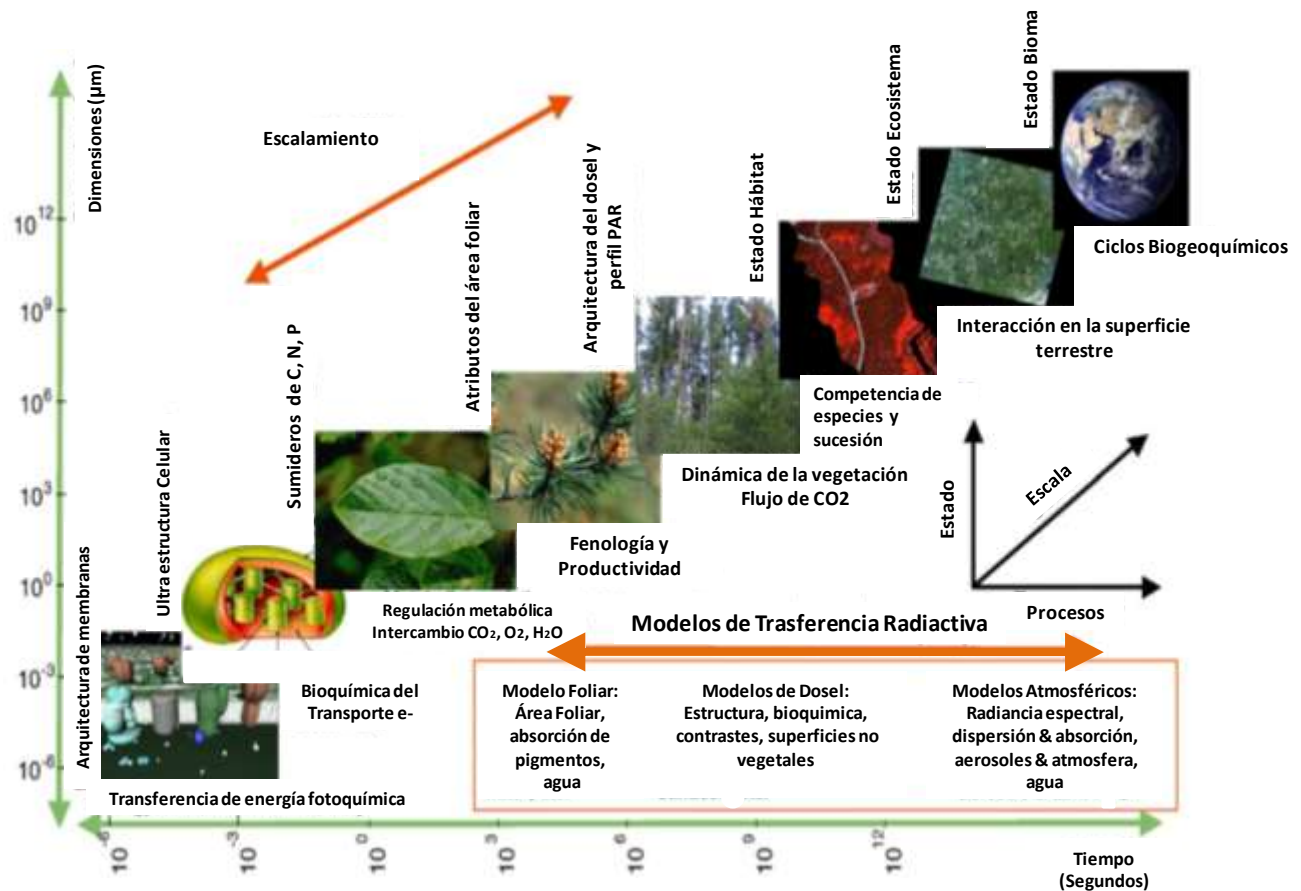


Figura 2.26. Modelos en percepción remota (Schaepman, 2009)

Así, la percepción remota por medio de la espectrometría de reflectancia se convierte en una poderosa herramienta para el análisis geoespacial y geotemporal de las características de los cultivos; en estos sistemas óptico-electrónicos, la radiancia recibida por los componentes ópticos se descompone en varias longitudes de onda, cada una de las cuales se envía a un conjunto de detectores sensibles a esa región del espectro que la amplifican y la convierten en señal eléctrica y finalmente en un valor numérico conocido como Nivel Digital (ND). La salida de radiación (emitida o reflejada) de la superficie terrestre es un fenómeno continuo en cuatro dimensiones (espacio, tiempo, longitud de

onda y radiancia). Un sensor debe muestrear en este continuo discreteándolo. El modo en que esto se lleva a cabo define los cuatro tipos de resolución con los que se trabaja en percepción remota:

1. **Resolución espacial** (tamaño de píxel)
2. **Resolución espectral** (indica el número y anchura de las regiones del espectro para las cuales capta datos el sensor)
3. **Resolución radiométrica** (número de intervalos de intensidad que pueden captarse)
4. **Resolución temporal**, tiempo que transcurre entre dos imágenes.

En ambientes agrícolas, las respuestas espectrales en los estados iniciales de crecimiento y en las etapas finales del cultivo muestran una mezcla compleja entre el suelo y la vegetación, la cual varía de acuerdo con la localización de las áreas de cultivo, por lo que el conocimiento de respuestas espectrales *in situ* es útil para caracterizar las condiciones de las parcelas en producción (Senay *et al.*, 2000).

Gers (2003), concluye, en sus estudios conducidos en Sudáfrica, que, si bien las herramientas de sensores remotos no reemplazarán a los métodos tradicionales de seguimiento de caña de azúcar en el futuro próximo, sí facilitarán la identificación de áreas nuevas de producción o expansión de pequeños productores con mejores resoluciones espaciales, espectrales y temporales.

Sin embargo, Koetz (2005) afirma que la principal limitante en el desarrollo de técnicas, para la estimación de variables biofísicas de los cultivos es introducir datos o información previa que sea representativa, y que tenga la mayor precisión posible, para obtener una solución más robusta a un problema u objetivo en particular (Cuadros 2.9 y 2.10). En el contexto de la agricultura local, Thorp (2010) recomienda que la información disponible de los cultivos, especies, rendimientos, etapas fenológicas, climas, sistemas de manejo y prácticas culturales, suelos etc., a través del conocimiento tradicional se incorpore en el análisis.

Cuadro 2.9. Potencial de la percepción remota en la agricultura (Xie *et al.*, 2008 y Dorigo *et al.*, 2007)

Uso	Posibilidades/aplicaciones
Herramienta de investigación	Sintetizar la comprensión de investigaciones
	Integrar conocimientos a través de disciplinas
	Analizar rendimientos agrícolas y factores limitantes
	Asistir en el mejoramiento genético
Manejo de sistemas agrícolas	Evaluar prácticas de manejo agrícola
	Estimar disponibilidad de agua y nivel de fertilización
	Ayudar en la toma de decisiones de los agricultores
	Implementar agricultura de precisión
Análisis de políticas	Implementar prácticas de gestión para reducir la lixiviación de fertilizantes y plaguicidas y la erosión del suelo
	Estimar rendimientos
	Evaluar los efectos del cambio climático

Cuadro 2.10. Sensores multispectrales empleados en la evaluación de la vegetación (Malenovsky, 2009 y Xie et al. 2008)

Sensor/satélite	Banda espectral	Resolución espacial (m) /amplitud (km)	Temporalidad días/disponibilidad
LANDSAT: TM (Thematic Mapper) Landsat 4 y 5	1: 450–520 nm	30/170–183	16 Días/1983–presente ((http://edc.usgs.gov/products/satellite/tm.php))
	2: 520–600 nm	30/170–183	
	3: 630–690 nm	30/170–183	
	4: 760–900 nm	30/170–183	
	5: 1.55–1.75 µm	30/170–183	
	6: 2.08–2.35 µm	120/170–183	
	7: 10.4–12.5 µm	30/170–183	
LANDSAT: ETM+ (Enhanced Thematic Mapper on Landsat 7)	1: 450–520 nm	30/170–183	16 Días /1999–presente (http://edc.usgs.gov/products/satellite/landsat7.php)
	2: 520–600 nm	30/170–183	
	3: 630–690 nm	30/170–183	
	4: 769–900 nm	30/170–183	
	5: 1.55–1.75 µm	30/170–183	
	6: 2.08–2.35 µm	60/170–183	
	7: 10.4–12.5 µm	30/170–183	
	8: 520–900 nm	15/170–183	
NOAA: AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	1: 580–680 nm	1100/2700	12 horas/1979–presente (http://edc.usgs.gov/products/satellite/avhrr.html)
	2: 725–1100 nm	1100/2700	
	3: 3.55–3.93 µm	1100/2700	
	4: 10.3–11.3 µm	1100/2700	
	5: 11.5–12.5 µm	1100/2700	
TERRA and AQUA: MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer)	36 bandas espectrales en la región 405–14038 nm:		1–2 Días /1999–presente (http://edc.usgs.gov/products/satellite/modis.html)
	Bandas 1–2	250/2330	
	Bandas 3–7	500/2330	
	Bandas 8–36	1000/2330	
TERRA: MISR (Multiangle Imaging Spectro Radiometer)	1: 425.5–467.5 nm	275/360	9 Días 1999–presente (http://terra.nasa.gov/Brochure/Sect_4-4.html)
	2: 543.2–571.8 nm	275/360	
	3: 660.8–682.7 nm	275/360	
	4: 846.6–886.3 nm	275/360	
ENVISAT: MERIS (Medium-spectral Resolution Imaging Spectrometer)	15 bandas espectrales en la región 390–1040 nm		3 Días 2002–presente (http://envisat.esa.int/instruments/meris/)
SPOT: VGT (VEGETATION 1 y 2 y SPOT4 y 5)	1: 430–470 nm	1150/2200	1 d/1998–present (http://smc.cnes.fr/VEGETATION/index.htm)
	2: 610–680 nm	1150/2200	
	3: 780–890 nm	1150/2200	
	4: 1.58–1.75 lm	1150/2200	

En percepción remota agrícola Dorigo *et al.* (2007) mencionaron que los índices de vegetación (VI vegetation index) combinan información espectral contenida en dos o más bandas, usualmente en el VIS y NIR, o en ambos; este es el método más utilizado para reducir los efectos de contraste (principalmente del suelo) y para mejorar las características espectrales en una combinación de un número limitado de bandas espectrales. Elwadie (2005); Broge y Mortensen (2002) han reportado numerosos índices los cuales son útiles para hacer estimaciones cuantitativas de parámetros biofísicos y bioquímicos de los cultivos tales como área foliar, porcentaje de biomasa verde, población y altura de plantas, biomasa, productividad y actividad fotosintética y otros parámetros. Dentro de ellos destaca el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) el cual está asociado con la variabilidad de la clorofila de las hojas, su contenido de nitrógeno y la producción de granos.

2.6. Identificación del área cañera en la Huasteca Potosina con imágenes Landsat 7 ETM+

El territorio conocido como “Huasteca Potosina”, se localiza en la parte oriental del estado de San Luis Potosí; tiene como límites, por el occidente a la Sierra Madre Oriental, y a los estados de Tamaulipas al norte, Veracruz al este, e Hidalgo y Querétaro por el sur. El contorno es irregular y comprende tierras planas hasta cañones y barrancas con más del 100% de pendiente. El área se encuentra delimitada por las coordenadas geográficas 22°40' de latitud norte, 99°40' longitud oeste en el Municipio de Ciudad del Maíz; 22°25' latitud norte, 98°40' longitud oeste en el Municipio de Ébano; 21°34' latitud norte, 99°43' longitud oeste en el Municipio de San Cirilo de Acosta y 21°08' latitud norte, 98°50' longitud oeste en el Municipio de Tamazunchale (Galindo *et al.*, 2009).

En esta zona el clima, en general, es cálido húmedo con una temperatura media anual de 26°C; y una precipitación media de 700 mm. En la vertiente de la Sierra Madre Oriental la precipitación alcanza los 1500 mm y llega a los 1000 mm entre Ébano y Tamuín; más específicamente, en la región convergen tres tipos de clima, cálido subhúmedo, semicálido subhúmedo y semicálido húmedo, con tipos de vegetación como selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia, bosque de encino, bosque de niebla y bosque de pino. Los grupos de suelos predominantes son vertisol, rendzina, regosol, histosol y luvisol. Su aprovechamiento es ganadero y agrícola de temporal o secano. La gran diversidad de climas se debe a las variaciones de altitud y latitud, y a la influencia de humedad marítima. La Sierra Madre Oriental es el factor determinante en la diversidad de climas, ya que al actuar como barrera orográfica provoca que la humedad proveniente del Golfo se condense en el lado de barlovento y que los vientos pasen secos hacia el centro y poniente del Estado de San Luis Potosí (INEGI, 2009).

El área de estudio comprende once municipios productores que representan una porción muy significativa de las tierras destinadas a la producción regional de caña de azúcar; su distribución ha dependido, desde su introducción como plantación, principalmente de la cercanía y de la accesibilidad a los ingenios azucareros y algunos trapiches, así como de la topografía, tipo de suelo, caminos y de la distancia a los cuerpos de agua. Los plantíos de caña de azúcar suelen colindar con cultivos citrícolas y pastizales de gramíneas (Figura 2.27).

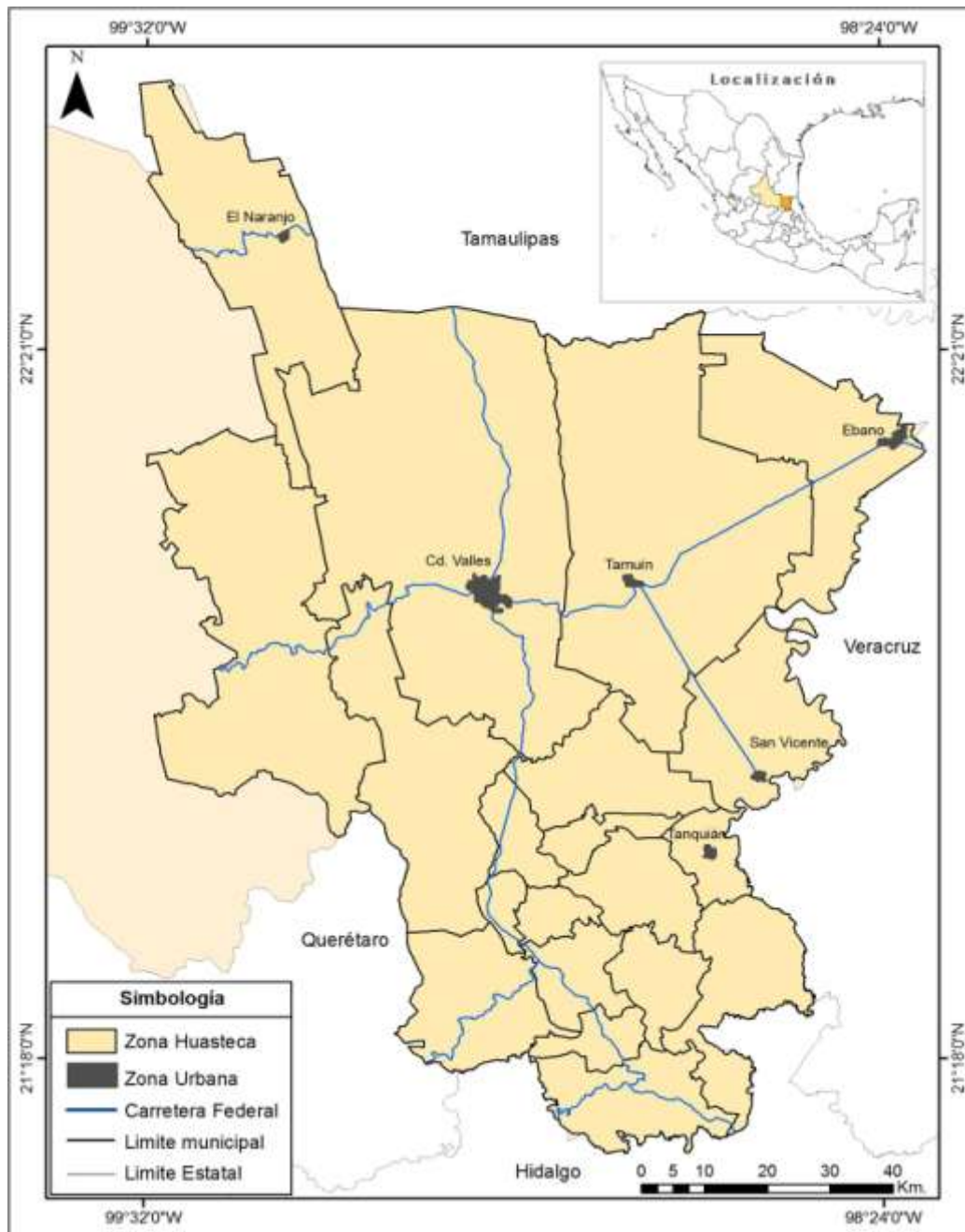


Figura 2.27. Ubicación de la Huasteca Potosina

Para identificar las áreas cultivadas con caña de azúcar y garantizar que el análisis que aquí se propone se limite a estas áreas, se utilizó como mapa temático el inventario agropecuario de la Huasteca Potosina de Galindo *et al.* (2005), de gran utilidad para conocer las condiciones iniciales del área de estudio y para tener una mayor perspectiva temporal. En él, se ubicaron las unidades forestales, ganaderas, pastizales, cítrcolas y agrícolas y las áreas disponibles para la cosecha de caña de azúcar. También se utilizaron diversas cartas cartográficas del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) a escala 1:50,000 de la zona de estudio (Figura 2.28).

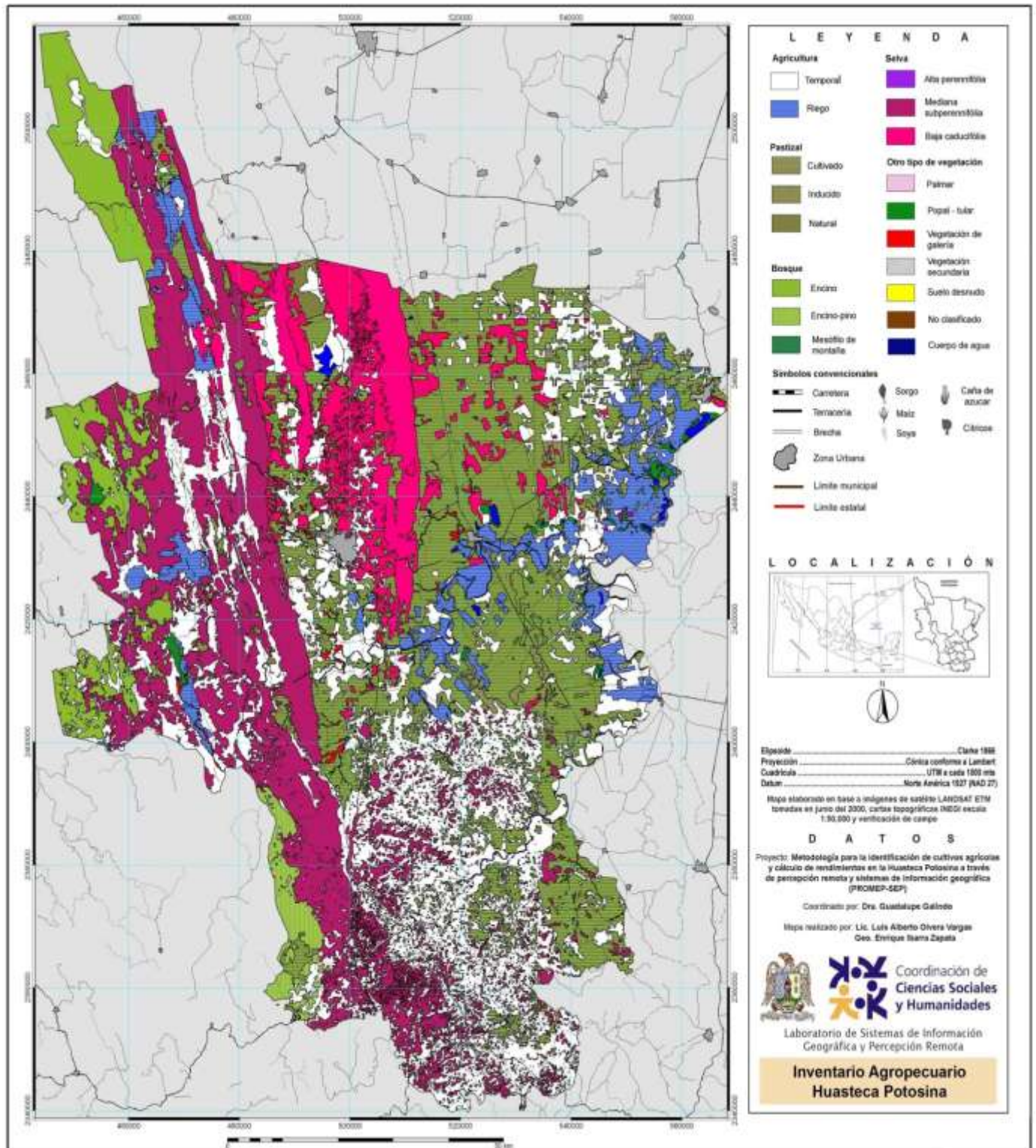


Figura 2.28. Inventario agropecuario de la Huasteca Potosina (Galindo et al, 2005)

Los límites geográficos del área se establecieron mediante la consulta del Manual Azucarero Mexicano de los años 1958 a 2010 donde se determinaron las áreas buffer o de influencia de los cinco ingenios azucareros que han existido en la región y los principales municipios, ejidos y predios particulares abastecedores de la materia prima. La primera clasificación de cañaverales obtenida fue verificada en campo y se hicieron las anotaciones correspondientes para posteriormente realizar las correcciones o ajustes necesarios en el software mediante interpretación visual de acuerdo con la experiencia adquirida en la zona cañera de Veracruz Centro.

Se identificó el uso del suelo (caña para ingenios, ganadería, piloncillo, semilla etc.) para aplicar esa información en la zona de estudio en agosto del 2008 en Tamasopo, El Naranjo y Ciudad Valles. Se georeferenciaron los cinco ingenios y algunos predios empleando un equipo GPS Garmin modelo GPSmap 60CSx con error de posicionamiento de cinco metros (Figura 2.29) de acuerdo con la metodología de Xavier (2006). Este autor sugirió que para una discriminación inicial del cultivo de caña respecto de otras coberturas del suelo, se requiere un análisis previo de estadísticas oficiales del sector y de la información a que se tenga acceso (datos de superficie, rendimiento de campo y agroindustrial, variedades, etapa del cultivo, etcétera) y la distribución espacial de plantas de derivados de la caña (ingenios y destilerías). Asimismo, Alves de Aguiar (2009) estableció que la información existente en la literatura sobre las características espectrales de la caña de azúcar en ciertas épocas del año, la textura homogénea de los bloques y la presencia de los ingenios azucareros y otras plantas productoras pueden facilitar la interpretación visual de las superficies plantadas de caña de azúcar respecto de otros usos de suelo.

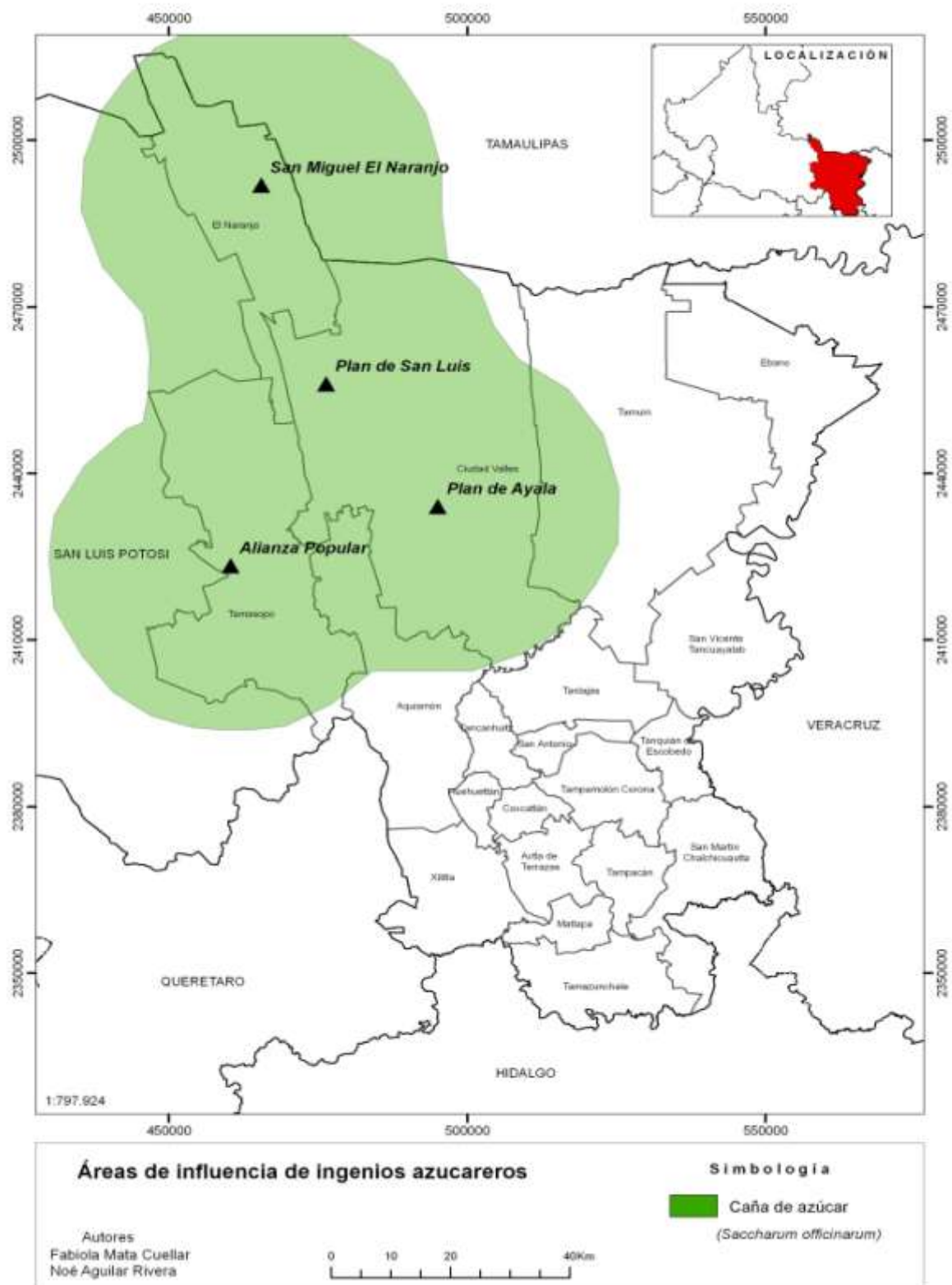


Figura 2.29. Ubicación espacial de los ingenios azucareros de la Huasteca Potosina y zonas de abasto o áreas de influencia

Para el análisis del cultivo de caña de azúcar, como cobertura y uso del suelo en la zona de estudio, se empleó la metodología de análisis espacial, la cual ha sido ampliamente documentada (Rudoff *et al.*, 2010; Hatfield, 2008; Knop, 2007; Almeida, 2006; Galvão *et al.*, 2006, Ueno *et al.*, 2005; Soria 2004; Xavier, 2004; Narciso, 1999; Meyer, 1997; Rudorff, 1990), con datos del sensor *Landsat Thematic Mapper* (TM), el cual es capaz de discriminar caña de azúcar de otros cultivos usando compuesto de falso color para caracterizar, monitorear, mapear y modelar espacialmente a los factores que explican las fuentes de variación de la productividad en un área cañera (Sene De Lourenço, 2005)

El método de identificación de los cultivos de caña de azúcar a través de imágenes satelitales, obtenidas en diferentes fechas, es muy sensible no sólo para identificar la superficie total cultivada con caña de azúcar, sino también el área disponible para la cosecha. La observación de los campos de caña de azúcar en fechas diferentes, prácticamente elimina la necesidad de verificación de campo (Rudorff *et al.* 2010).

La plataforma Landsat 7 ETM+ y la escala de representación 1:50,000, proporciona información en las regiones térmicas, visibles e infrarrojas del espectro electromagnético utilizadas en múltiples aplicaciones agrícolas y usos del suelo (actividad socioeconómica que se desarrolla en un territorio con una determinada cobertura de suelo) como programación de riegos, predicción de cosechas, detección de plagas y enfermedades y, más recientemente, en contaminación y fertilidad de suelos (Henríquez *et al.* 2005).

Carbonell *et al.* (2007) y Tardin *et al.* (1992) demostraron que el uso de sensores como el *Landsat Thematic Mapper* (TM) para la identificación de caña de azúcar proporciona resultados consistentes con una precisión mayor al 95 %. Markley *et al.* (2003), mencionó que el sensor *Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) facilita el inventario de caña durante el tiempo de zafra, al comparar áreas cosechadas y no cosechadas. Simões *et al.* (2005) demostraron que los modelos de derivados del Landsat ETM+ llegaron a explicar más del 95 % de la variabilidad, al ser comparados con datos reales de producción y biomasa, Murillo *et al.* (2009) mostraron resultados positivos utilizando productos Landsat ETM+ y técnicas estadísticas de discriminación espectral de variedades de edades similares con una precisión de identificación del 75 %.

Estas imágenes fueron utilizadas con el propósito de seleccionar píxeles (la menor superficie discriminada por el sensor) que cuenten con ciclos vegetativos que indiquen la presencia de caña de azúcar y para establecer los límites para la zona agrícola de caña de azúcar (polígonos digitales). Por lo tanto, el presente trabajo se basó en la interpretación visual de espacio mapas derivados de imágenes Landsat 7 ETM+ estas imágenes cuentan con resolución radiométrica de 8 bits, 256 niveles digitales ND de cada píxel de la imagen que van desde el negro pleno (0) al blanco pleno (255), 7 bandas y 625 m² por píxel con resolución espacial de 30 m x 30 m (0,09 ha) y una cobertura de 185 km x 185 km. Las imágenes empleadas fueron 2645, 2745 y 2744 (órbita/punto) adquiridas el día 4 de abril de 2005. Esta adquisición se realizó a través del Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF) al final de la zafra de la Huasteca Potosina, (esto, debido a que las condiciones de excesiva nubosidad al momento de la pasada del satélite, impidieron la adquisición de imágenes aptas para el análisis al inicio de la zafra). Las imágenes fueron reproyectadas empleando el Datum Norteamericano de 1927 (NAD27), la proyección Transversal de Mercator (UTM zona 14

Norte) y considerando el elipsoide de Clarke de 1866. Las imágenes abarcaron el 100 % del área cultivada con caña de azúcar (Figura 2.30)

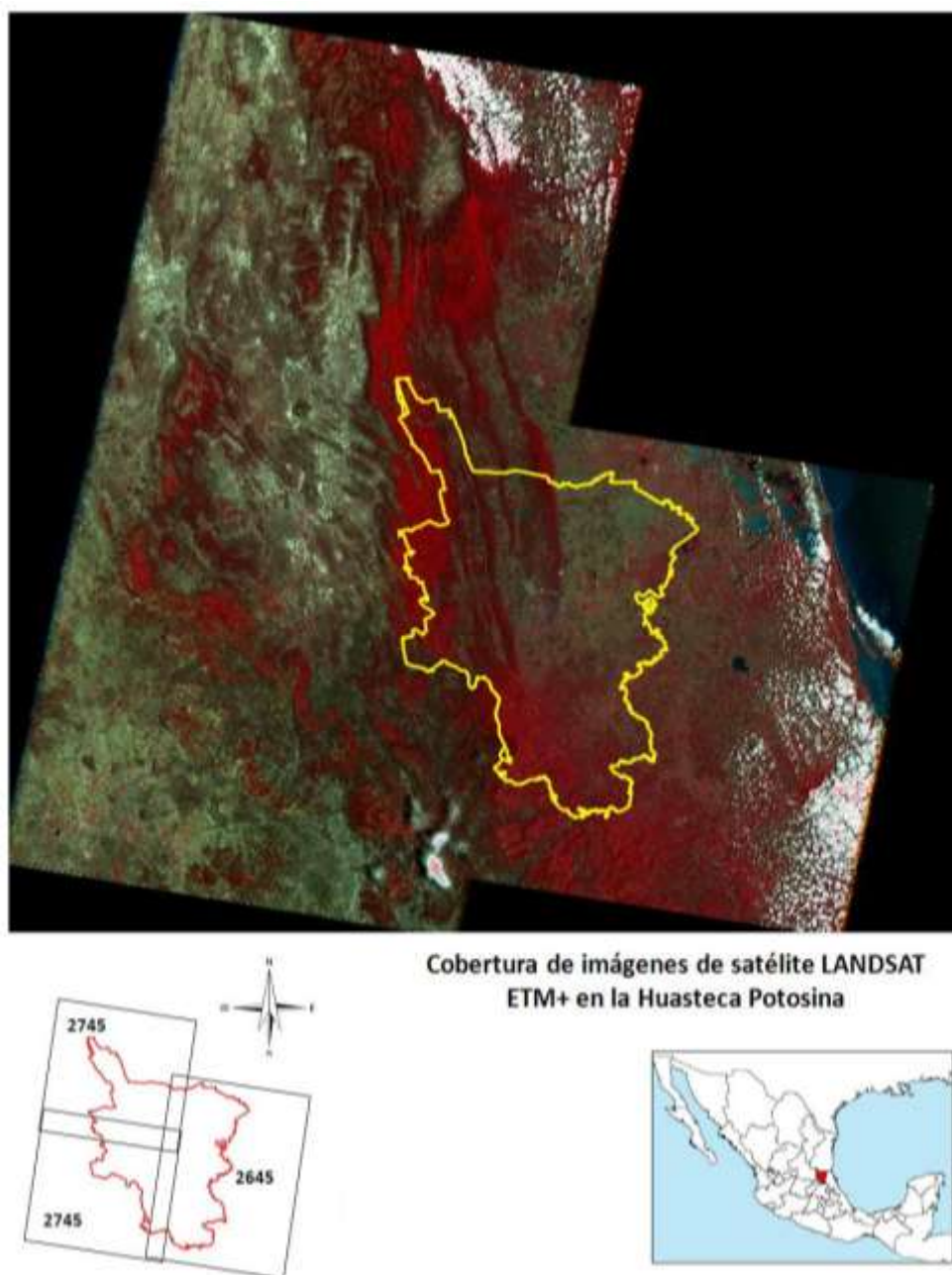


Figura 2.30. Mosaico de imágenes Landsat en la Huasteca Potosina

Estas imágenes fueron utilizadas mediante interpretación visual (fotointerpretación) para establecer los límites para la caña de azúcar (polígonos digitales) respecto de otros usos del suelo. Las bandas utilizadas fueron: B1(azul 450-520 nm), B2(verde 520-600 nm), B3(rojo 630-690 nm), B4 (infrarrojo próximo 770-900 nm), B5 (infrarrojo medio 1550-1750 nm) y B7 (infrarrojo 2090-2350 nm). Para la respuesta espectral relacionada con la productividad (NDVI) se emplearon las bandas 3 y 4.

Se empleó la composición falso-color (RGB-453) debido a que esta combinación de bandas de color proporciona un mayor énfasis en el crecimiento o la facilidad para distinguir los distintos tipos de vegetación; esto se relaciona con lo reportado por Rudoff *et al.* (2010), Del Arco *et al.* (2005), Breglio *et al.* (2005), Zullo (2002) y Soria (2002, 2001), quienes recomendaron para Landsat7 ETM+, la composición en falso color RGB 453, (Banda 3; 0.63-0.69 μm , Banda 4 0.76-0.90 μm , Banda 5 1.55-1.75 μm) de tonos magenta, las cuales corresponden principalmente al cultivo de caña de azúcar, y hacen posible establecer un espectro de patrones visuales en la región de estudio, para discriminar niveles de productividad y variabilidad espacial.

Esto se traduce como una pérdida en la intensidad del color magenta, cuya intensidad dependerá del contenido de humedad y/o de la densidad de la plantación; esto es semejante a lo reportado por Carbonell *et al.* (2007); Zullo (2002) y Haack (1995), quienes demostraron que la composición de color formada por tres bandas (ETM+ 3, 4 y 5) dio una mejor discriminación en comparación con la composición en falso color FCC (*False Colour Composite*). Por su parte Smith (2001) estableció que en la composición Infrarrojo cercano (TM 4) = R, Rojo (TM 3) = G, Verde (TM 2) (432), la vegetación verde sana aparece roja, los pastizales en color verde-azul, los suelos agrícolas son color marrón y los cuerpos de agua son negros; Breglio *et al.* (2005); Simões (2004) y Joaquim (1998) coinciden que para caña de azúcar, las banda 4 y 3 (Infrarrojo cercano y rojo) son las más útiles para distinguir variables agronómicas, niveles de producción y rendimientos potenciales (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto); las otras bandas son mucho menos distintivas, debido a la gran variabilidad de la cubierta de las hojas durante el ciclo del cultivo, donde los tallos de caña de azúcar y paja resultante de la senescencia temprana de las hojas exponen las capas inferiores del dosel e influyen en las características espectrales del cultivo (Figura 2.31)

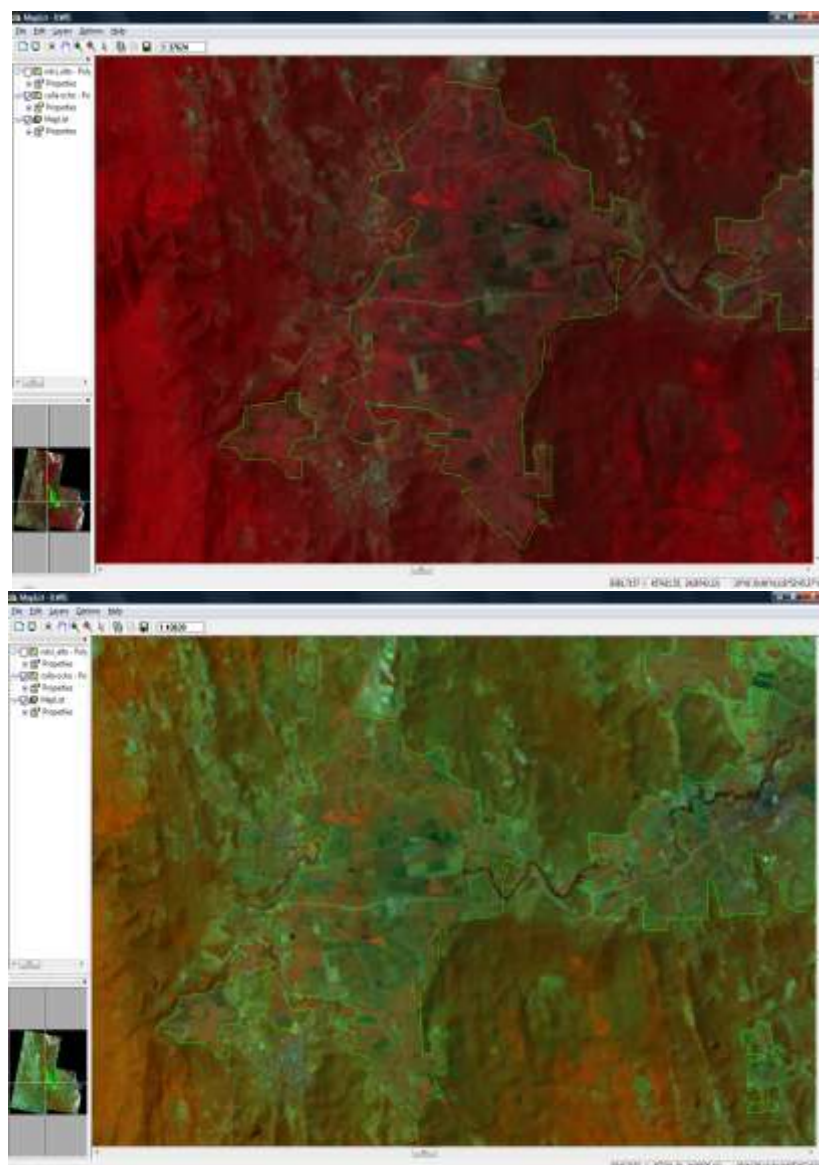


Figura 2.31. Compuestos Landsat ETM+ 432 y 453 de la zona cañera

Todas las imágenes de satélite adquiridas fueron cortadas para cubrir únicamente las zonas de abasto de los ingenios azucareros estudiados; al mismo tiempo se recortaron sub-escenas del área de trabajo para cada municipio productor de caña, para agilizar la identificación de los predios cañeros, lo cual estuvo limitado a imágenes libres de nubes, por lo cual las imágenes seleccionadas fueron las de menor cobertura nubosa sobre el área cañera.

La distribución espacial de este tipo de cobertura en la región de la Huasteca Potosina, permitió una identificación aceptable de los predios con caña de azúcar. En la totalidad de las imágenes evaluadas se observaron diferentes patrones espaciales de caña. Uno caracterizado como un patrón aleatorio compuesto de parches de caña de pequeño tamaño distribuidos en diferentes porciones como cuadros (en el menor de los casos), y el otro caracterizado por bloques relativamente grandes y homogéneos cercanos a los

ingenios azucareros. En dicha región no se tuvo la gran diversidad de usos del suelo por ganadería y otros cultivos que determinan una amplia gama de tipos de cobertura. La zona de trabajo fue discriminada primeramente a nivel de los principales municipios cañeros (Tamasopo, El Naranjo, Ciudad Valles y Aquismón) reportados por el Manual Azucarero Mexicano 2008 (Figura 2.32); posteriormente, mediante la verificación de campo, se incorporaron Tamuín, Tancanhuitz, Coxcatlán, San Vicente y Tanlajás, lo que permitió obtener un resultado de identificación verídico y confiable, ya que fue posible observar el patrón típico espectral de la caña, incluso en zonas donde no había diferencias en el comportamiento espectral (Figura 2.33)

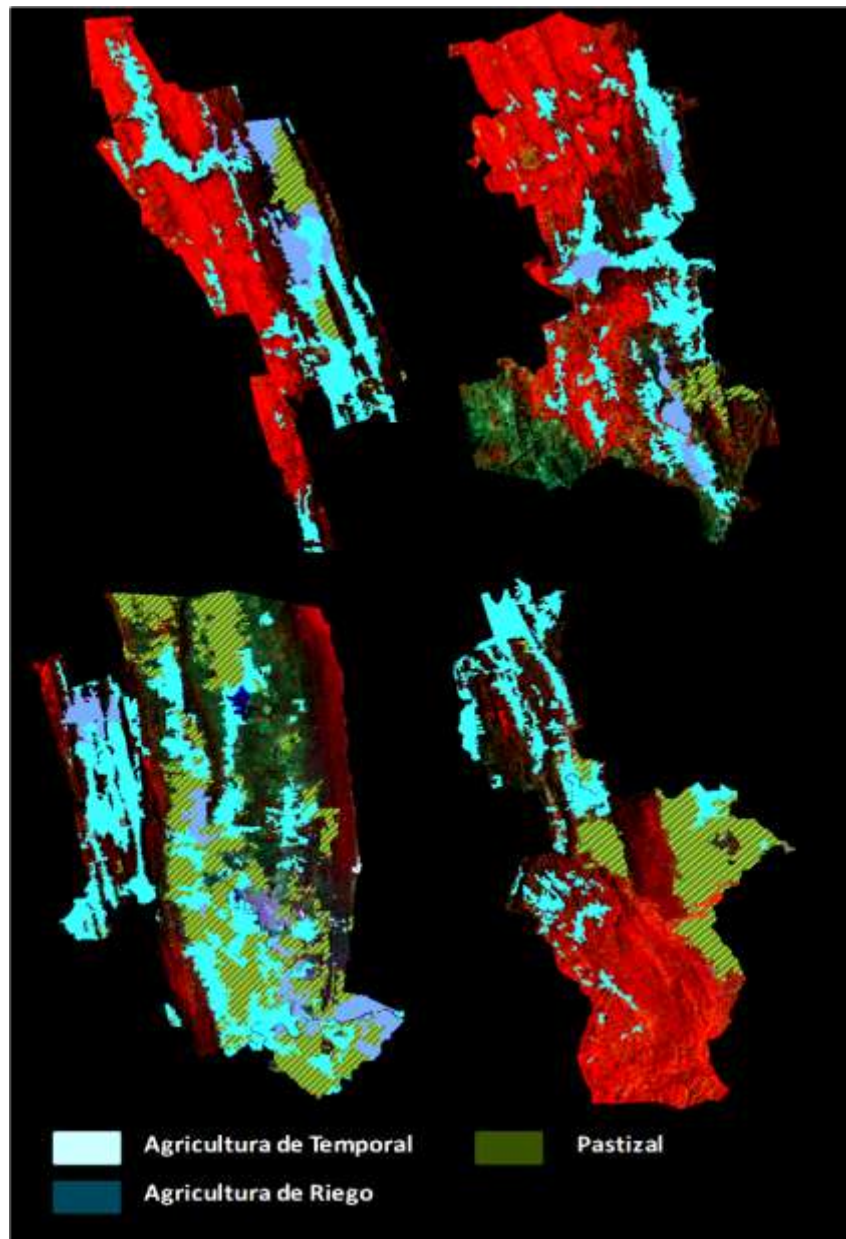


Figura 2.32. Análisis espacial para la identificación de zonas agrícolas y de pastizal de los municipios de El Naranjo, Tamasopo, Aquismón y Ciudad Valles

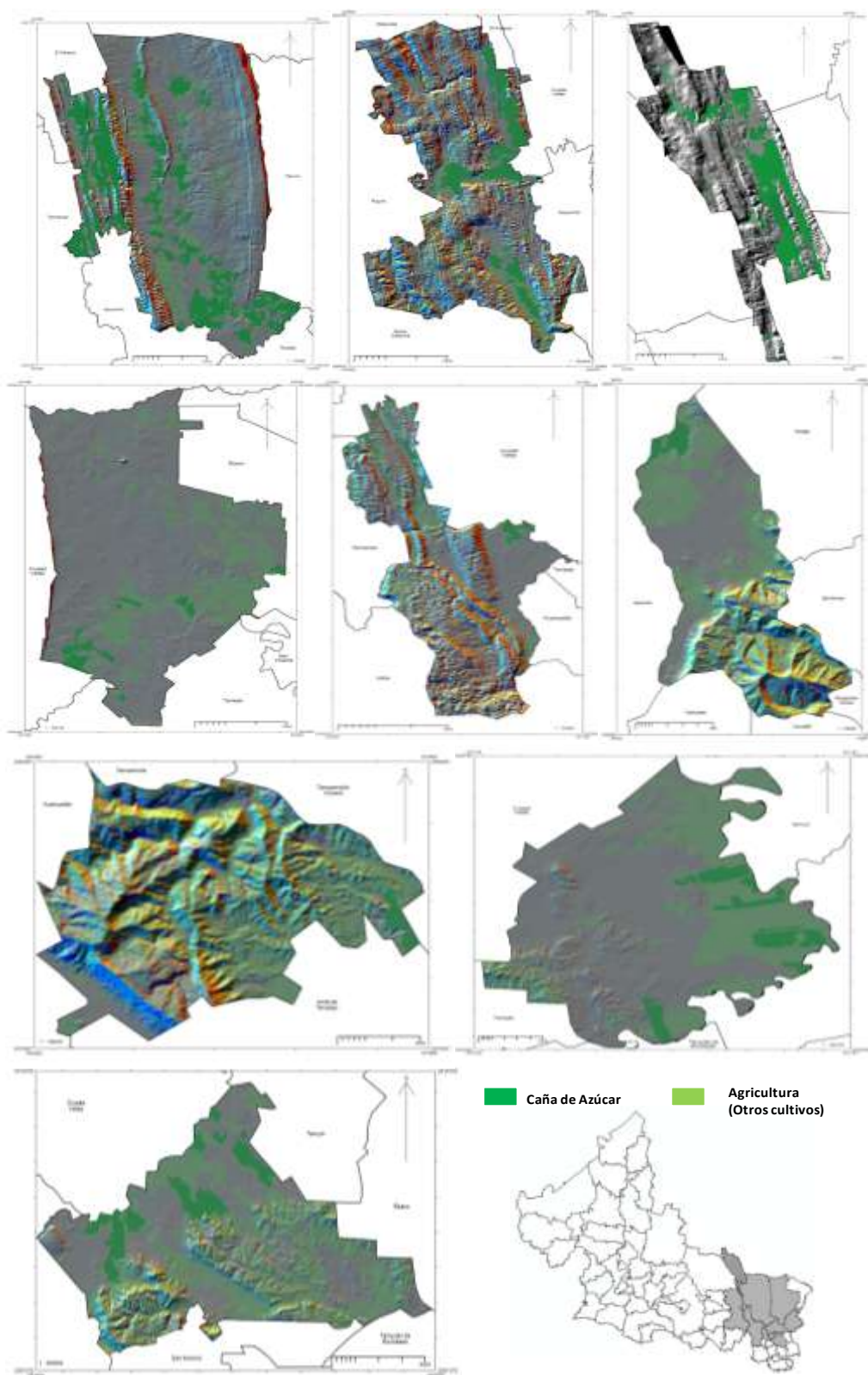


Figura 2.33. Localización espacial de la superficie cañera Ciudad Valles, Tamasopo, El Naranjo, Tamuín, Aquismón, Tancanhuitz, Coxcatlán, San Vicente y Tanlajás.

En la primera etapa, los polígonos resultantes de la segmentación se clasificaron de forma interactiva como caña de azúcar. En el segundo paso, a partir de las salidas de campo efectuadas en noviembre de 2008, se delimitaron las áreas próximas a ser cosechadas y se georreferenciaron a través de puntos de control terrestre localizados mediante sistemas de posicionamiento global. El perímetro y la estimación por superficie de las áreas con caña de azúcar fue claramente identificable de otros cultivos en la imagen Landsat ETM+ a nivel municipal y esto permitió cuantificar su extensión y distribución (Figuras 2.34 y 2.35).

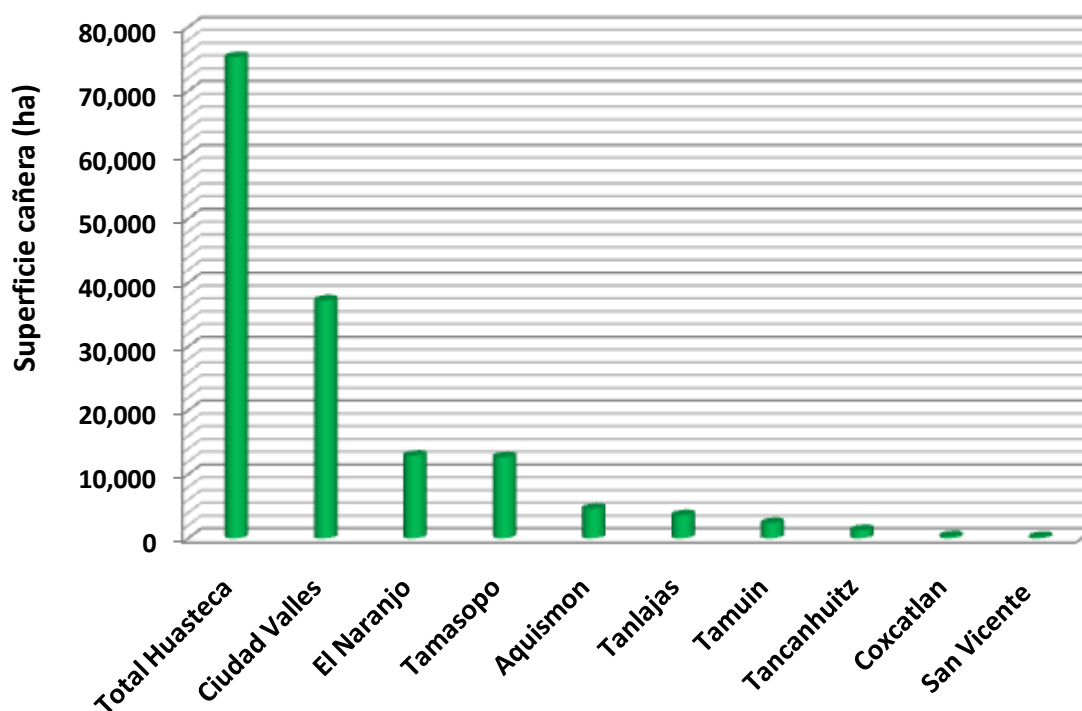


Figura 2.34. Superficie cañera por municipio

La diferente característica espectral de las zonas productoras de caña de azúcar permitió cuantificar la superficie total mediante el análisis visual y la posterior poligonización del área cañera. Del análisis de la misma, se determinó que el cultivo de la caña de azúcar en la Huasteca Potosina ocupa un área más extensa que la reportada por los organismos del sector.

En relación con esta situación, Farías *et al.* (2003) concluyeron que la productividad de los cultivos varía espacialmente, y que es fundamental determinar las causas de estas variaciones para establecer áreas específicas de gestión y manejo. Todo lo anterior, mediante la separación de ambientes, manejo de residuos, resiembra, control de maleza, fertilización, riego y aplicación de madurador y la asignación de variedades adaptadas al suelo y clima. Para la Huasteca Potosina, se determinó una superficie total cosechada de 75,328.83 ha (6,7% de la superficie total del área de estudio); dicha información refuerza la importancia económica de esta actividad (Cuadro 2.11).

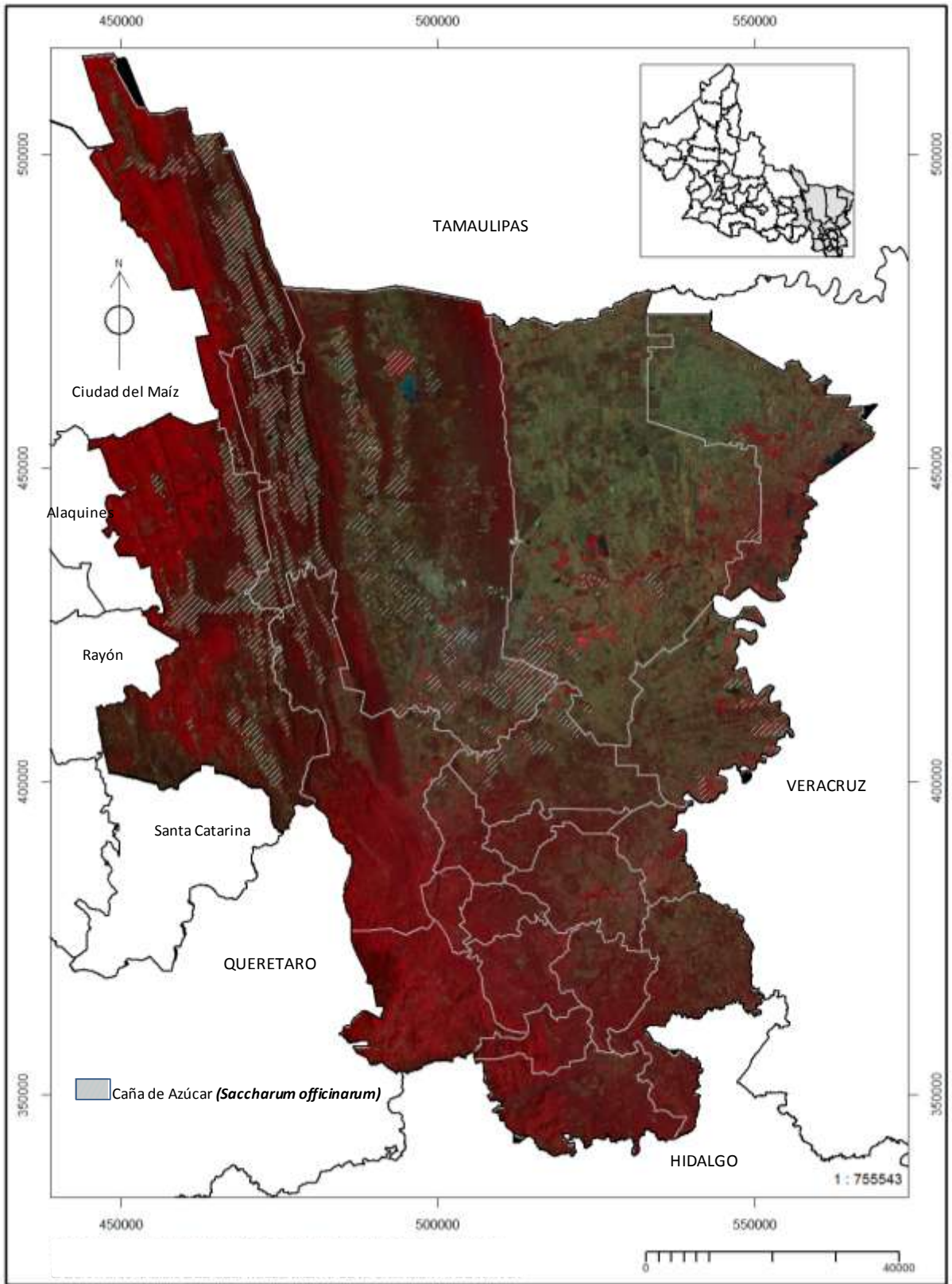


Figura 2.35. Imagen de Satélite LANDSAT 7 ETM+ Compuesto Falso Color 453 RGB y mascara del cultivo de caña de azúcar dentro de la Huasteca Potosina

Cuadro 2.11. Superficie cañera (diversas fuentes)

Superficie (ha)	Fuente
71,758	CNIAA (2009)
70,893	CNPR (2009)
64,340	SEDARH (2009)
68,035	INEGI (2009)
69,091	SAGARPA (2009)

Con las imágenes Landsat disponibles fue posible realizar la estimación de la superficie cosechada de caña de azúcar; esto, a pesar que no eran de fechas de adquisición óptimas debido, en primera instancia, a las condiciones de excesiva nubosidad al momento de la pasada del satélite, durante los meses de noviembre, diciembre y enero cuando los cañaverales se encuentran listos para la cosecha según la recomendación de Rudorff e Batista (1985); Bappel *et al.* (2005), Sene De Lourenço, (2005) y Carbonell *et al.* (2007) concluyeron que los resultados generales que se obtienen son aceptables (con una precisión del 90% o más) cuando los datos de satélite de alta resolución (Landsat, SPOT) son adquiridos antes de la temporada de cosecha, cuando el dosel del cultivo se ha desarrollado plenamente; sin embargo, este propósito se ve fuertemente limitado por las condiciones tropicales de nubosidad; en relación con lo anterior Allen (2006) estableció los periodos y el grado de cobertura del dosel en función de las etapas de desarrollo para caña de azúcar (Cuadro 2.12)

Cuadro 2.12. Cobertura del dosel cañero a partir de la cosecha o plantación (FAO, 2006)

Etapas de desarrollo	Días (Ciclo plantilla o soca y/o resoca)
Etapa 1 (siembra a 25% de cobertura del dosel)	30-60
Etapa 2 (25 a 50% de cobertura del dosel)	30-40
Etapa 3 (50 a 75% de cobertura de dosel)	15-25
Etapa 4 (75 a 100% de cobertura del dosel)	45-55
Etapa 5 (cubrimiento total)	180-330
Etapa 6 (madurez temprana)	30-150
Etapa 7 (maduración)	30-60

Este error de temporalidad podría generar dos consecuencias; por un lado el escaso desarrollo de algunos cañaverales (derivados de su cosecha en el último tercio de la zafra en los meses de marzo y abril) no permitiría su clasificación y por otro, el periodo transcurrido entre la clasificación y la zafra, al ser muy prolongado, aumentaría considerablemente el riesgo de que condiciones agroclimáticas y fitosanitarias pudiesen modificar el rendimiento del cañaveral; en el presente caso, las imágenes Landsat adquiridas y analizadas mostraban ya a los cañaverales como una densa masa vegetal “verde” (dosel), la cual es una condición óptima para la identificación y diferenciación de niveles productivos. Lo anterior pone de manifiesto que el uso de imágenes Landsat permite establecer un punto de partida para la identificación de los predios con caña de azúcar y diferenciarlo de otros usos del suelo; tal como lo sugirieron Del Arco Sanches *et al.* (2005), una sola imagen de satélite no puede proporcionar información espectral

suficiente para identificar a todos los cultivos plantados en una temporada, sin embargo, puede, *a priori*, determinar fácilmente las diferencias existentes entre las diversas áreas productivas y los alrededores con otros usos del suelo.

Dadas las diferencias en los valores de la superficie cañera reportada por diversas fuentes, se requirió precisar este dato. Para ello se llevaron a cabo nueve visitas al área en estudio entre febrero-abril, julio-agosto y noviembre-enero de los años 2008, 2009 y 2010. En los recorridos se identificaron y delimitaron el mayor número y variedad posible de puntos de verificación. En cada visita se utilizaron las escenas clasificadas (espaciomapas) para la corroboración o corrección de las clases de productividad de la caña de azúcar previamente reconocidas. Se registraron 345 puntos de muestreo georreferenciados distribuidos en los municipios de El Naranjo, Tamasopo, Aquismón, Ciudad Valles, Tanlajás, Tancanhuitz, Coxcatlán, y San Vicente Tancuayalab, a través de los lotes de cultivo próximos a rutas principales, caminos vecinales y terracerías (Figura 2.36).

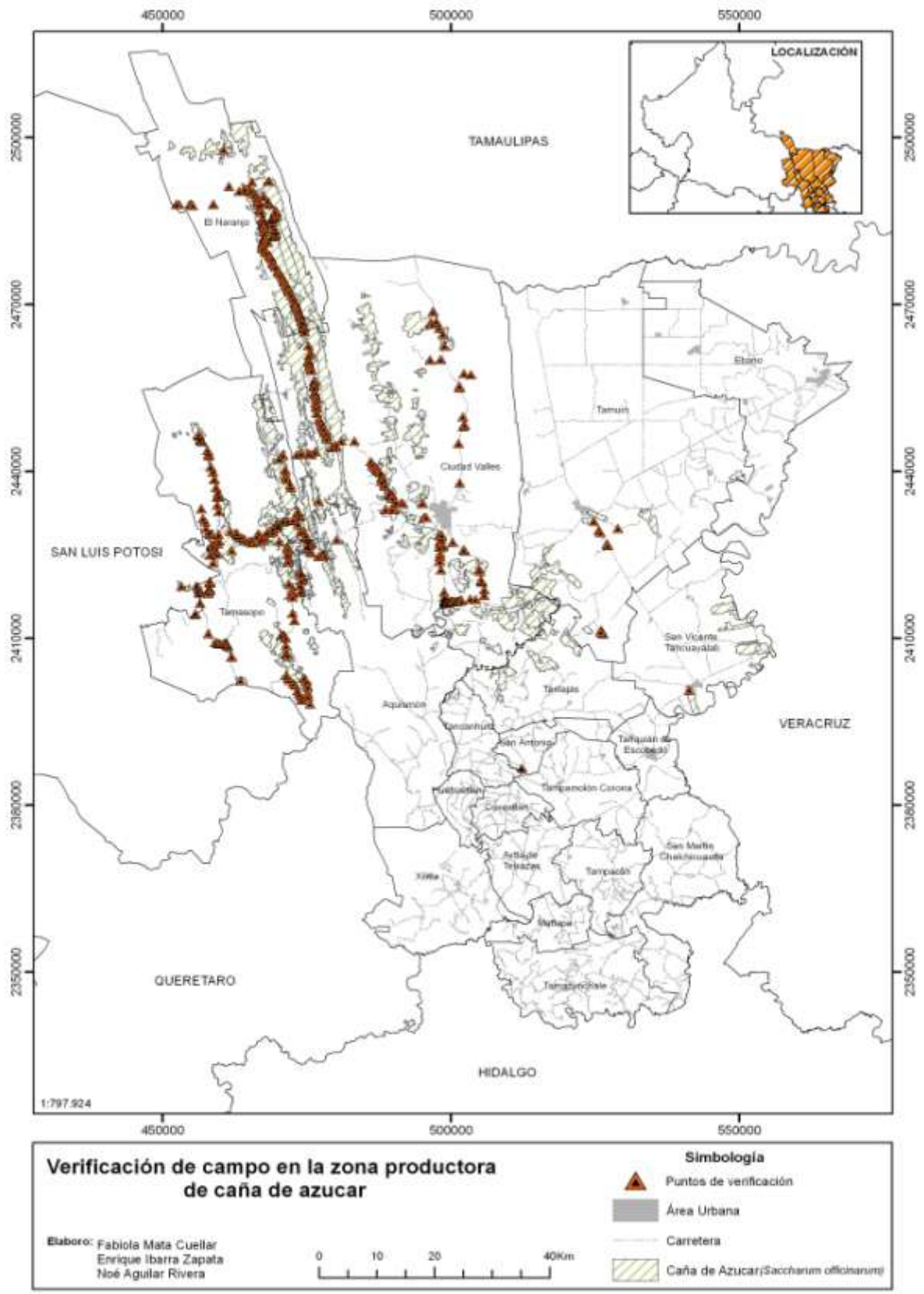


Figura 2.36. Puntos de muestreo en la zona cañera de la Huasteca Potosina

Con base en esta información y en la proporcionada por los mismos productores entrevistados, se concluyó que, en el polígono identificado como caña de azúcar, 75,328.83 ha corresponden a predios de caña cosechada y entregada a los ingenios a partir de Noviembre del 2004 y hasta el final de la zafra en abril del 2005. El resto de los predios, no identificados como caña de azúcar, corresponden a caña quedada y sin cosechar, cosechada a partir de mayo o junio, después de concluida la zafra, como forraje, piloncillo, golosina o semilla. La zafra de estudio corresponde a la campaña agrícola más productiva de la presente década al promediar 68.492 t/ha de rendimiento de campo y 7,846 t/ha de rendimiento agroindustrial en 70,893 ha cosechadas (CNPR, 2009).

Con la información de los puntos de verificación se obtuvo un área total con caña de azúcar de 89,158 ha, la cual presenta un alto margen de coincidencia con las 86,566 ha reportadas por el Padrón de Productores de Caña de Azúcar (ZAFRA 2006-2007) de INEGI (2008) con y con las 88,928 ha del proyecto *“Digitalización del Campo Cañero en México para Alcanzar la Agricultura de Precisión de la Caña de Azúcar”* (COLPOS, 2009) (Figura 2.37).

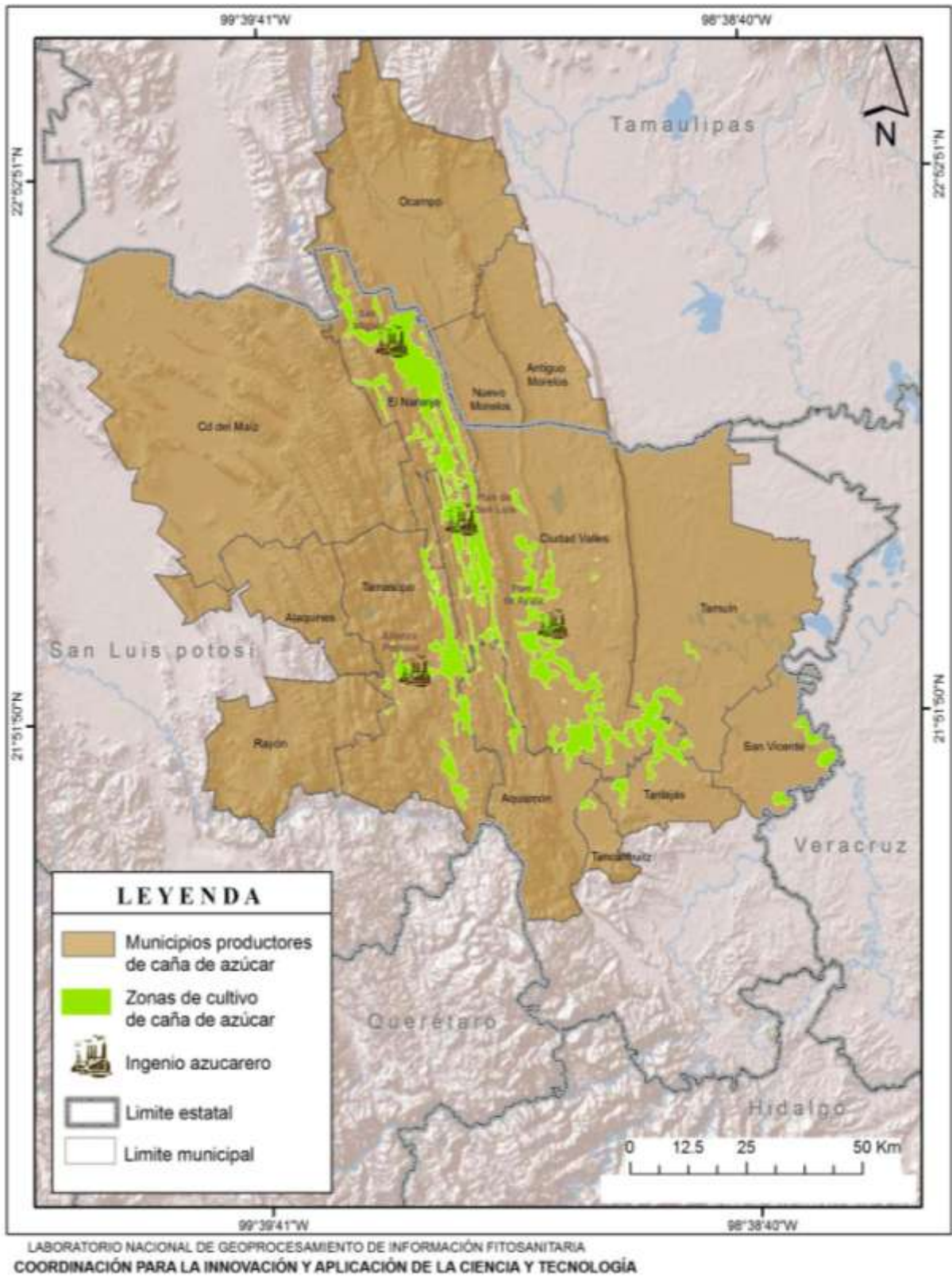


Figura 2.37. Distribución espacial del cultivo de caña de azúcar dentro de la Huasteca Potosina

2.7. Aptitud edafológica y agroclimática espectral del cultivo de caña de azúcar en la Huasteca Potosina

Para zonificar agroecológicamente un área es necesaria la información edáfica y climática existente, referente a los requerimientos ambientales del cultivo. La lotificación consiste en establecer lotes compactos con superficie de 25-50 ha para dar al cultivo de caña de azúcar un manejo agronómico uniforme y eficiente, logrando con ello aumentar la calidad y rendimientos de la materia prima. Sin embargo, la determinación del potencial productivo para las zonas cañeras de México y los estudios de regionalización, zonificación y lotificación se encuentran limitados por la baja disponibilidad de información estadística y cartográfica en relación con el medio físico y el potencial de las diversas regiones productoras de caña. Esta información temporal y espacial ha sido históricamente de calidad limitada y con actualización irregular. Además de los trabajos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), es difícil encontrar otra fuente de información que proporcione documentación confiable y útil en la toma de decisiones en planeación y gestión de actividades productivas (Aguilar *et al.* 2009; Salgado, 2010 y 2008; INIFAP, 2005; Medina, 1997; Acuña, 1993). La evaluación del potencial productivo de la caña de azúcar se lleva a cabo, generalmente, al finalizar cada zafra, y se basa en la experiencia de técnicos, a través de observaciones de campo y muestreos con datos estadísticos de años anteriores, sin considerar la distribución espacial del área plantada y su variabilidad debida a diversos factores ambientales; esto trae como consecuencia errores en las estimaciones de producción, principalmente en zonas agrícolas de gran heterogeneidad, como la Huasteca Potosina

El primer paso en la estimación, optimización de la producción, el transporte, y el uso de los recursos de la biomasa cañera es la comprensión del potencial de las tierras agrícolas para producir caña de azúcar. Sin embargo, las mediciones sobre el terreno no se pueden hacer con el nivel de detalle suficiente para determinar la distribución espacial; en contraparte, se prefiere realizar estimaciones de producción mediante análisis estadístico, por lo que la metodología final de evaluación debe abarcar aspectos de varias metodologías y disciplinas (Elmorea *et al.*, 2008; Krishna Rao, 2002; Fortes, 2003).

Esto se debe, según Begue (2008) y Ji-hua Bing-fang (2008), a que la variabilidad en el crecimiento y, por ende, la productividad del cultivo de caña de azúcar (la cual representa a la energía efectivamente utilizada en el proceso de fotosíntesis) está relacionada con múltiples factores complejos que pueden ser dependientes o independientes del tiempo. Los primeros, están relacionados directamente con el sustrato: topografía, tipo de suelo, profundidad, pendiente (para caña de azúcar se asume que pendientes mayores a 5% pueden limitar la producción debido a que no se puede mecanizar la cosecha) y uso anterior del suelo. Los segundos con factores anuales como anomalías en la plantación y emergencia o condiciones climáticas y estacionales, así como enfermedades de la planta, presencia de arvenses nocivas, sequía, inundaciones o heladas (Frecuencia de heladas núm. de días año⁻¹ debe ser menor a 50). Estos factores pueden, a su vez, generar un patrón espacio-temporal complejo que explique el diagnóstico del vigor del cultivo como combinación del contenido de pigmentos y la abundancia de área foliar. La productividad de la planta de caña de azúcar representa, por un lado, un particular escenario ambiental y

por otro, un complejo de factores socio-económicos, culturales y tecnológicos (Whittaker, 1997) (Figura 2.38)

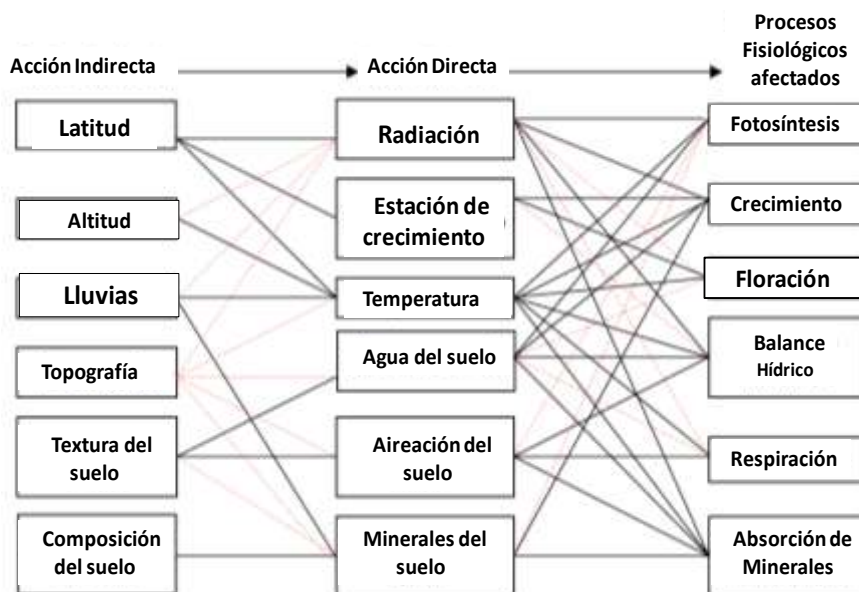


Figura 2.38. Factores de producción de caña de azúcar (Epiphanio, 1996)

El proceso de evaluación de tierras permite realizar estudios con el fin de valorar si el uso dado a una unidad agrícola es el más adecuado, apoyándose para tales decisiones en factores agroclimáticos que inciden en su comportamiento bajo usos determinados, en términos de beneficios, costos, y efectos ambientales (Fonseca et al. 2004).

La variabilidad espacial de los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, influencia la eficiencia de manejo de la producción cañera y su desenvolvimiento. Además de la variabilidad natural del suelo, las prácticas agrícolas de manejo (fertilización, muestreo, recuperación) son fuentes adicionales de variación. El manejo del suelo puede afectar principalmente a las propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas de las capas superficiales (De Mello *et al.*, 2006; Kuang Ning *et al.*, 2006)

Según Johnson y Richard (2005), la importancia económica de la caña de azúcar justifica los estudios de la variabilidad espacial de atributos del suelo. El uso de estas técnicas, podría proporcionar una mayor comprensión de las variaciones en el cultivo y el suelo, y permitir el establecimiento de la planificación agrícola adecuada. De acuerdo con Santé Riveira (2005); Fonseca *et al.* (2004); CENGICANA (2004) y FAO (1996), el objetivo de una zonificación de cultivos es la identificación de áreas aptas potenciales, definidas por un uso y una unidad territorial. Esto constituye la base para la posterior planificación y gestión del conjunto de usos en la totalidad del territorio; es decir, la zonificación es la división de un área en unidades más pequeñas, que tienen características semejantes, relacionadas con su aptitud y potencial de producción. Portilla (2006) estableció que los objetivos de la zonificación siempre se relacionan con la clasificación y la representación espacial de la aptitud y limitaciones de la tierra con respecto a un determinado uso, para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos. Esta clasificación surge de la sobreposición

espacial de información de variables tales como suelos, clima y cultivos. La sobreposición simultánea genera combinaciones únicas (con el fin de obtener jerarquías sistemáticas que faciliten la clasificación) las cuales se manifiestan en una extensión espacial a través de un mapa y en una base de datos. Con ello, se orienta la investigación y el desarrollo de la agricultura de precisión (AP) en una región determinada a escala predio o unidad productiva, debido a la longevidad del cultivo, el bajo costo de adquisición de imágenes, su cobertura espacial y la posibilidad de generar los índices de sus bandas espectrales (Abdel-Rahman, 2008 y Zhang, 2005).

Ante esta situación, las técnicas de Percepción Remota (PR) imágenes satelitales (Landsat, SPOT, NOAA etc.), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sistemas de geoposicionamiento (GPS) son herramientas útiles en la identificación y seguimiento de grandes áreas agrícolas, estimación de la producción, detección de enfermedades y estrés, mapeo de zonas productivas, direccionamiento del muestreo para diversos objetivos y observación en campo basados en la variabilidad espacial del suelo, clima y parámetros de campo de los diversos cultivos. Asimismo, brindan la posibilidad de vincular espacialmente distintas fuentes de información y, a partir del análisis de las imágenes generadas por sensores remotos, obtener información de las características de las coberturas vegetales. Para ello se utilizan diferentes técnicas de procesamiento de imágenes como el cálculo de índices de vegetación a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda, mediante el cual se pretende extraer la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de otros factores externos en la toma de decisiones. Todo esto depende de la cantidad, calidad y homogeneidad de la información disponible para su respectivo análisis temporal y espacial, y sirve para evitar el avance o expansión cañera sobre zonas de aptitud agrícola marginales (Hatfield, 2008; Salgado, 2008; Abdel-Rahman, 2008; Ueno *et al.* 2005; Simões Dos Santos, 2005 y 2003; Epiphany, 1996; Acuña, 1993; Rudorff, 1990).

La identificación, zonificación y clasificación de áreas de cultivo de caña de azúcar, dentro de los estudios agroclimáticos y agroecológicos se llevan a cabo con diferentes tipos de análisis como la interpolación espacial y el álgebra y sobreposición de mapas, y son necesarias para estimar la productividad potencial (alta, media, baja o muy baja) del cultivo (toneladas de tallos/ha) y para verificar su coincidencia o discrepancia con la clasificación adoptada para las zonas cañero-azucareras (Narciso, 1999 y Soria *et al.* 1998) y para propósitos de manejo (Jiménez *et al.*, 2004; Schmidt, 2001; Meyer, 1997; Lee-Lovick, 1990). Se llevó a cabo un análisis de la zona cañera (polígono cañero) tomando en cuenta los requerimientos climáticos y edáficos como factores base para el cálculo del desarrollo del cultivo y para delimitar áreas con rendimientos potenciales similares en el software ArcMap ESRI ArcGis 9.2, de acuerdo a la metodología de Marin *et al.* (2009), Jiménez (2004), CENGICAÑA (2004) y Rudoff, (1985). Mediante la superposición de mapas de datos meteorológicos y edáficos (temperaturas, régimen de lluvias, índice de severidad a la sequía, climas, suelos, altitud, pendiente y tenencia de la tierra) en formato digital, desarrollados de acuerdo con la metodología de Hernández (2006) y Galindo (2005), se obtuvo una base de datos derivada de una tabulación cruzada mediante el algoritmo Cross (sobreposición y álgebra de mapas). Mediante esta función se obtienen las cifras absolutas y relativas de la superposición de cada variable y del mapa de usos del suelo; estos datos facilitan la elección de las variables más significativas y la

configuración de las restricciones y los factores al cultivo de caña bajo condiciones de temporal (Figura 2.39 y Cuadros 2.13 al 2.17).

Cuadro 2.13. Nivel de aptitud al cultivo de caña (Quintero 2008, Ortega 2007, Wahid, 2004, James, 2004, Subiros, 2000, Chávez, 1999, ICA, 1992, Vázquez 1987, Dillewijn 1978, Humbert, 1974, Fauconnier, 1975)

Variable	Nivel de aptitud al cultivo de caña			
	Alta	Media	Baja	No apta
Temperatura promedio anual (°C)	22-32	20/22-32/35	18-20	<18
Precipitación media anual (mm)	>1,500	1,250-1,500	1,250-1,000	<1,000
Pendiente (%)	0-8	8-16	16-30	>30
Altitud (msnm)	Hasta 400	400-850	850-1,300	>1300
Índice de severidad de sequia	Leve	Moderada	Fuerte a Muy fuerte	Severa
Rendimiento potencial (t/ha)	>80	80-55	55-40	<40

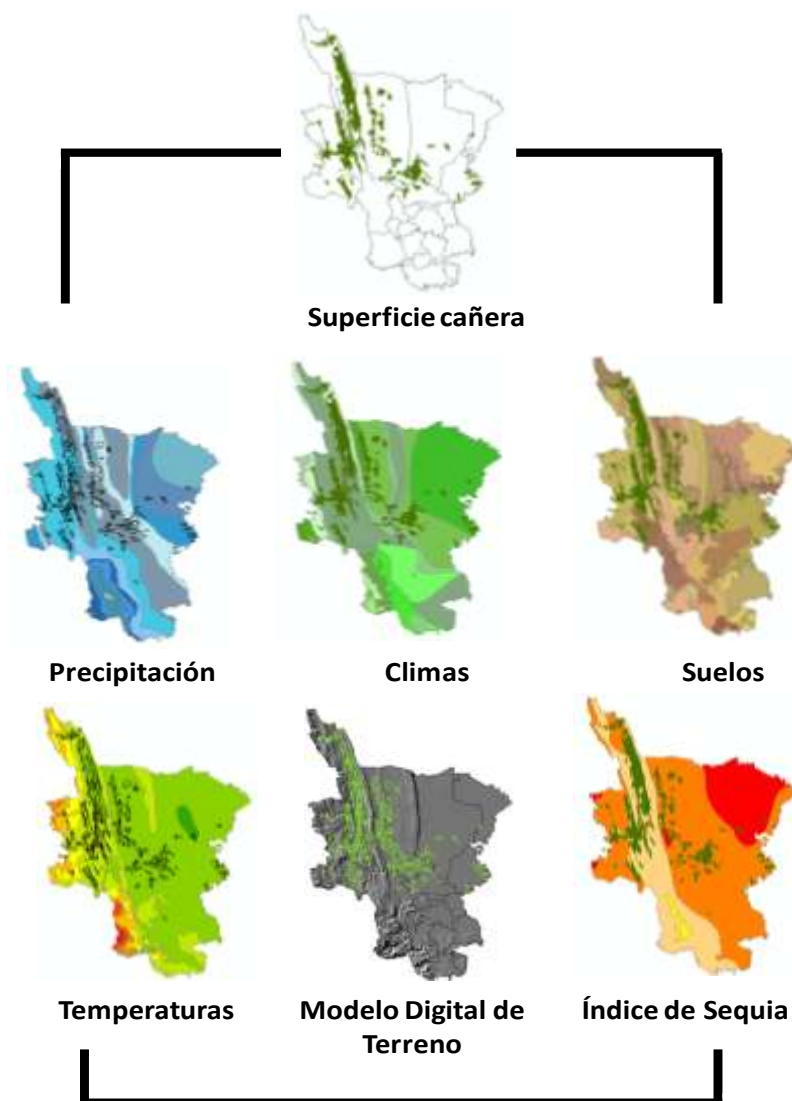


Figura 2.39. Mapas temáticos (Escala 1:50,000) factores de productividad cañera

Cuadro 2.14. Condiciones climatológicas predominantes de la zona cañera de la Huasteca Potosina

Clima		Precipitación		Temperatura máxima		Temperatura media		Temperatura mínima		Índice de severidad a la sequía	
Tipo	ha	Isoyetas	ha	°C	ha	°C	ha	°C	ha	Tipo	ha
(A)Cm	40,775.3	<900	212	18-20	0.12	18-20	187.9	12-14	213.95	Fuerte	36,103
(A)Cw1	2,794.4	900-1000	944.9	24-26	209.6	20-22	503.6	14-16	1065.3	Intenso	37,871
(A)Cw2	7,675.8	1000-1100	4,215.9	26-28	482.8	22-24	3,284.5	16-18	45,207	Severo	1,212
Am	111.2	1100-1200	10,568.9	28-30	2347.7	>24	41,649	>18	28,699		
Aw0	4,090.81	1200-1500	27,220.7	30-32	5063.7						
Aw1	16,348.5	1500-1800	31,997.2	>32	379.8						
Aw2	3,390.32	1800-2000	12.39								

Cuadro 2.15. Condiciones edafológicas predominantes de la zona cañera de la Huasteca Potosina

Pendiente		Altitud		Suelo	
Tipo	ha	m.sn.m.	ha	Tipo	ha
0-5 %	65,361.03	0-100	19,699.28	Cambisoles	3,427.75
5-10 %	5,641.45	100-200	6,689.45	Rendzinas	6,135.71
10-20 %	2,874.44	200-300	30,352.06	Phaeozems	2,675.06
20-25 %	615.91	300-400	12,421.59	Litosoles	9,384.28
25-30%	346.98	400-500	3,504.05	Castanozem	250.27
30-40 %	274.25	500-600	1,156.43	Regosoles	4,778.65
40-50 %	142.14	600-1000	887.09	Vertisoles	48,532.16
>50 %	71.16	1000-1200	519.62	Otros	3.39

Cuadro 2.16. Condiciones climatológicas en la Huasteca Potosina por superficie cañera (ha)

Clima	Lluvia (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Índice de Severidad de Sequía
(A)Cm Aw1	1100-1800	28-32	22-26	16-20	Fuerte
(A)Cm Aw1 (A)Cw2	1000-1800	28-32	22-24	16-18	Fuerte a Muy Fuerte
(A)Cm Aw1	1000-1800	28-32	22-26	16-20	Fuerte a Muy Fuerte
(A)Cm Aw1	1100-1800	30-32	22-26	16-20	Fuerte a Muy Fuerte

Cuadro 2.17. Condiciones edafológicas en la Huasteca Potosina por superficie cañera (ha)

Tipo de Suelo	Pendiente (%)	Altitud (msnm)
Vertisoles	0-10	Hasta 300
Vertisoles	0-15	Hasta 400
Vertisoles Litosoles	0-15	200-500
Vertisoles	0-10	Hasta 400

Una vez obtenidas todas las capas temáticas de la zonificación propuesta se comenzó con la integración de las mismas. La información generada establece que el clima dominante es (A)Cm (semi-cálido húmedo con temperatura media anual de 18 a 22 °C) el cual se

presenta en el 54.2 % de la región cañera. La Huasteca Potosina presenta temperaturas elevadas mayores a 28°C que predominan durante una buena época del año, la temperatura mínima con un valor promedio de 22°C es favorable para el normal desarrollo de la planta. Para la edafología, predomina el Vertisol pelico, pendientes de 0 a 20 %, es decir terrenos llanos o casi llanos a moderadamente escarpados, aptos para la mecanización del cultivo, con una altitud que varía desde 61 a 1,200 m.

Por lo tanto, para la Huasteca Potosina existen condiciones favorables para el desarrollo del cultivo de caña de azúcar, y podrían esperarse altos rendimientos tal y como lo mencionaron Salgado (2010); Sánchez *et al.* (2002) y Bautista (1998). Sin embargo, el factor más importante es la disponibilidad de agua²¹, de acuerdo con lo planteado por Inman-Bamber (2005); Jiménez (2004) y Acuña *et al.* (1993). La caña requiere para su desarrollo por arriba de 1,500 mm de agua como lluvia y/o riego; en la Huasteca sólo el 43 % de los terrenos cañeros presenta la cantidad suficiente para el desarrollo del cultivo en régimen de temporal y altos rendimientos (>80 t/ha) (Figura 2.40).

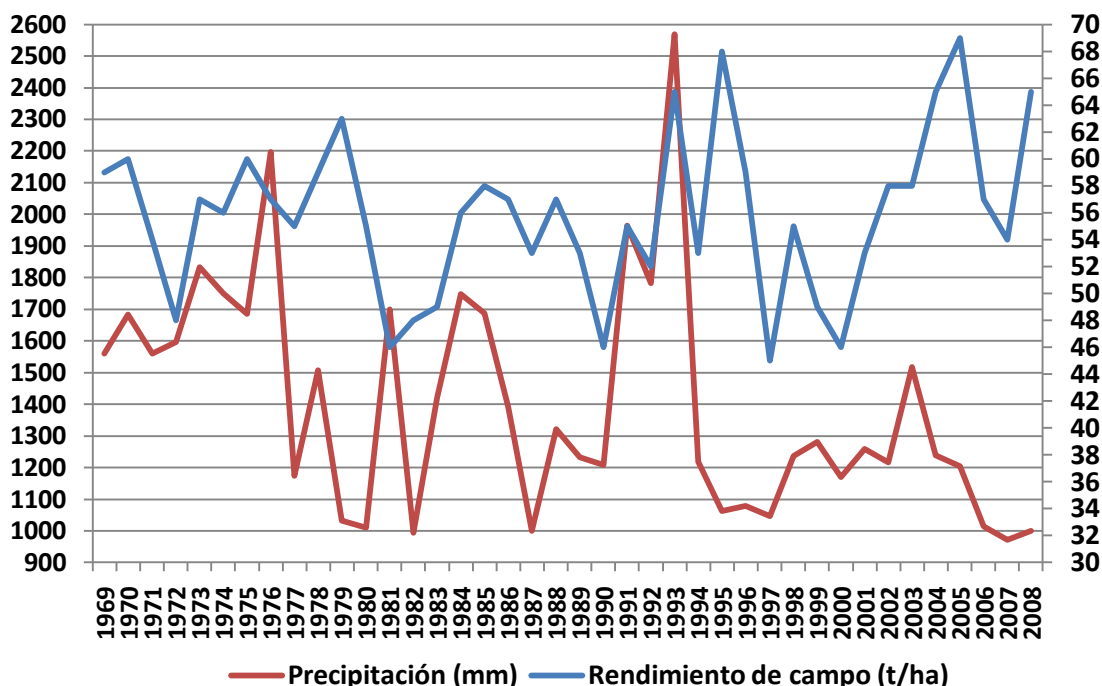


Figura 40. Precipitación y rendimiento de campo en la zona cañera de la Huasteca (con datos del periodo 1969-2008 de las estaciones meteorológicas de El Naranjo, El Rosario, El Estribo, La Hincada, 5 de Mayo, Estación Coyoles, Plan de Ayala, Tampaya, Tamasopo y El Canal).

²¹ Para determinar el efecto de la precipitación se calculo el coeficiente de correlación de Spearman, (paquete estadístico STATA) como medida de la correlación (asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias continuas (precipitación y rendimiento). El analisis mostro que el rendimiento no depende de un solo factor si no de la combinación de varios, por lo tanto la variable precipitación no explica estadísticamente el rendimiento de la caña.

Además de lo anterior, la distribución del gradiente de precipitación es irregular ya que se presentan varios meses de lluvias escasas (de noviembre a julio o agosto) y la distribución tiene más influencia sobre la producción de caña que los acumulados anuales (Romero, 2009). Lo que debería limitar su uso como parámetro único para los estimados cañeros

Como resultado, el índice de severidad a la sequía (como una función del déficit de precipitación con respecto a la precipitación media anual o estacional de largo periodo, y su duración en una determinada región) predomina en la zona cañera con calidad de fuerte (48 %), muy fuerte (50.3 %) y severo (1.6 %).

Los diferentes factores climáticos que actúan sobre un lugar determinado como la Huasteca Potosina, condicionan en gran medida las fases del ciclo productivo de la caña y su rendimiento. En este sentido, Scarpari *et al.* (2004) mencionan tres aspectos del impacto climático en el sistema de producción cañero. En primer lugar, el clima determina directamente el proceso de crecimiento y la cantidad de azúcar producida. En segundo, las condiciones climáticas influyen en el desarrollo de enfermedades y plagas en el cultivo que restringen su desarrollo. Y en tercero, el clima, en particular la lluvia, determina tanto el exceso o escasez de agua, como el movimiento de nutrientes y pesticidas; sin embargo, es necesario determinar el peso específico de cada variable, lo que implica el diseño de nuevas metodologías y esquemas de planeación para incrementar la productividad. El análisis multicriterio proporciona el marco adecuado para la integración de los distintos factores (ambiente, economía y sociedad) que intervienen en la aptitud del suelo para cada uso, y el Proceso de las Jerarquías Analíticas (AHP, Analytic Hierarchy Process) ha sido incorporado en distintas aplicaciones SIG para la realización de análisis de aptitud (Santé Riveira, 2005).

Para Berumen (2007) la búsqueda de la eficiencia y la productividad de las empresas, de los sectores industriales y de las regiones están contribuyendo a adoptar metodologías de apoyo en la toma de decisiones, en general, y para el fomento de la competitividad, en particular, en escenarios donde intervienen múltiples variables o criterios de selección. Las condiciones actuales, que imperan en el entorno, se distinguen por la rapidez y la intensidad con las que se suscitan los cambios, lo cual implica que los agentes económicos están obligados a tomar decisiones constantemente (y a asumir sus consecuencias), las cuales dependen de múltiples criterios o atributos de tipo cuantitativo, cualitativo o de una mezcla de ambos. Lo anterior lleva a reconocer que cada vez es más necesaria la utilización de metodologías que permitan reducir o atemperar el riesgo que suponen las conjeturas y supuestos improvisados; todo ello, con el afán de alcanzar mejores niveles de competitividad en el seno de las empresas, los sectores industriales y las regiones.

2.8. Evaluación multicriterio (EMC) de la zona cañera de la Huasteca Potosina

La evaluación multicriterio (EMC) se basa en la ponderación y compensación de variables, ya sean determinantes o bien factores de aptitud, y permite obtener mapas que expresan la evolución potencial para cada categoría de usos del suelo o sistemas productivos industriales (para ello, es necesario caracterizar ambientes con condiciones similares, o zonas agroecológicas, que expresen el potencial productivo de la zona para el cultivo). La

aplicación del módulo de evaluación multicriterio (EMC) exige, por último, la indicación de pesos o ponderaciones para cada factor (Sipahi 2010; Rozman, 2005; Barredo, 1996).

Estos métodos están basados, según (Malczewski, 1996), en la teoría de la decisión para explicar y predecir el comportamiento de los agentes que toman la decisión y los indicadores económicos. Un problema multicriterio, con un número discreto de alternativas, puede ser explicado, según Falconi (2004), en: A es un conjunto finito de n alternativas o acciones posibles; G es el conjunto de las m funciones de evaluación g_i $i=1,2,\dots,m$ asociadas con los criterios de evaluación o puntos de vista considerados relevantes en el problema de decisión. Si A es una alternativa, $g_i(A)$ es su evaluación en el i -ésimo criterio.

En esta forma, un problema de decisión puede ser representado en una matriz P de m filas y n columnas denominada matriz de evaluación o impacto, cuyos elementos p_{ij} ($i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$) representan la evaluación de la alternativa j -ésima en el i -ésimo criterio (Munda, 2006) y (Gómez, 2006).

		Alternativas		
		A_1	A_2	A_3
Criterios	C_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}
	C_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}
	C_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}
	C_4	P_{41}	P_{42}	P_{43}

Las reglas de decisión son:

- Si a y b son dos alternativas, la alternativa a es mejor que la alternativa b , según el i -ésimo criterio o punto de vista, si $g_i(a) > g_i(b)$.
- La alternativa a domina a la alternativa b , si a es al menos tan buena como b para todos los criterios que están siendo considerados, y mejor que b al menos en un criterio.

Es decir, cada variable o factor temático deben ser estructurados como una matriz, en la cual los criterios ocupan las filas y las alternativas las columnas, para posteriormente determinar el vector característico (eigenvector) principal, el cual establece los pesos (w_j); y el valor característico (eigenvalue), que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Mena-Frau, 2006).

La integración de la EMC y los SIG genera una herramienta para asistir en procesos de análisis espacial en gestión ambiental a través de la construcción de mapas temáticos, derivados de bases de datos geográficas y territoriales; en especial, para la asignación/localización de actividades productivas que permita asistir de manera eficaz a procesos de planificación y ordenación del territorio, o bien realizando operaciones de localización/asignación tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos (Rozman, 2005; Díaz, 2000; Barredo, 1996). Para caña de azúcar, la EMC establece un indicador confiable que permite diagnosticar los sistemas productivos regionales, al identificar sus factores determinantes y compararlos dentro de un mismo criterio de

evaluación que involucra aspectos de clima, suelo y factores socioeconómicos, lo que da un carácter cuantitativo a las evaluaciones realizadas (Marin *et al.* 2009, 2008)

El área de estudio comprendió las 89,158 ha de la zona de abasto cañero de la Huasteca Potosina (polígono cañero) y la ubicación de los 4 ingenios azucareros; las variables o factores empleadas, de acuerdo con los estándares internacionales para la industria azucarera, corresponden a lo reportado en el Cuadro 2.5.

El procedimiento de ponderación y comparación de dichos factores entre sí se llevó a cabo mediante el método de las jerarquías analíticas, desarrollado por Saaty en 1977 (Díaz, 2000). Esta es una técnica abierta y flexible que permite la adecuada modelación de problemas con una alta complejidad, y es utilizado con gran éxito en la solución de problemas de toma de decisiones por su sencillez y la robustez de sus resultados (Monteiro de Abreu, 2000).

En este sentido, Samizava *et al.* (2008) establecieron que el proceso de ponderación por el método AHP como integración de la Geomática y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), ofrece la posibilidad de compensación de una variable con otra, por el grado de importancia relativa, lo que hace posible la generación de nuevos escenarios para el mismo objetivo con la revisión y cambio en la matriz de comparación por pares. Los autores sugieren que el análisis multicriterio utilizando AHP reduce la subjetividad en una escala numérica, ya que está relacionado con el conocimiento empírico de los usuarios para asignar valores de importancia relativa de las variables en la matriz de comparación por pares. Saaty (2001) estableció que el análisis que realiza el método para reducir la subjetividad, consiste en determinar matemáticamente el grado de importancia o peso de los distintos elementos del modelo jerárquico. Algunos de los elementos del modelo pueden ser medidos fácilmente porque se refieren a aspectos cuantitativos. La ventaja del AHP consiste en que permite incorporar adicionalmente aspectos cualitativos que suelen ser complejos de analizar pero que pueden ser relevantes en la toma de decisiones (Ping Shi, 2002; Vargas, 1990). Otra ventaja radica en que se analiza cada uno de los aspectos de interés comparándolos con los demás de manera individual, lo que permite obtener resultados objetivos al analizar procesos subjetivos, pues se mide cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior en una solución global. El método AHP se sustenta sobre los axiomas de juicios recíprocos y homogeneidad de los elementos, es decir los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud y estructura jerárquica (Freitas, 2006); ha sido empleado en caña de azúcar, principalmente en la selección de variedades (Gomes Costa, 1999), en el diseño de estrategias para incrementar la competitividad (Akli Achabou 2009; Castellanos-Abella, 2007; Abrantes-Giannotti, 2003) y en proyectos de bioetanol y bionergia (Quijano, 2010; Junqueira *et al.*, 2009; Prado 2008 y Quintero *et al.*, 2008)

La identificación del problema consiste en determinar la situación que se desea resolver mediante la selección de una de las alternativas de las que se dispone, o mediante la priorización o peso de todas ellas. El AHP se fundamenta en juicios de valor realizados por expertos con base en información científica y técnica (Berumen, 2007).

La importancia relativa de cada uno de los factores o aptitud al cultivo de caña en la Huasteca Potosina permitió manejar una gran cantidad de información espacial del cultivo

(cartográfica, temática y estadística emanada de estudios realizados en el sector con la condicionante de la representatividad espacial) para ser valorada mediante la construcción de una matriz de comparación por pares de factores (pareada). Esta deriva de los datos obtenidos en la tabulación de la superposición de mapas y del cálculo posterior de esa matriz para asignar un peso o valor distinto a cada uno de los factores (matriz o vector de prioridades, que expresa la importancia relativa de cada criterio o peso) (Saaty 2001 y 1999). Previamente se realizó una transformación para la utilización de los temas geográficos como variables espaciales, donde cada uno de esos pares posibles (unidades espaciales) fue comparado y calificado, aplicando una escala continua de 17 jerarquías de importancia relativa dentro del módulo AHP del software ESRI ArcGis 9.2 y Expert Choice 11.5 (Figura 2.41 y Cuadro 2.18) para calcular los pesos de los factores y desarrollar una representación espacial; se generó un mapa tipo ráster de los ingenios azucareros y zonas de abasto. Posteriormente, estos archivos pasaron a formar parte de las coberturas ráster con las cuales se construyó el modelo en relación con su aptitud para el cultivo de caña bajo condiciones de secano o temporal.

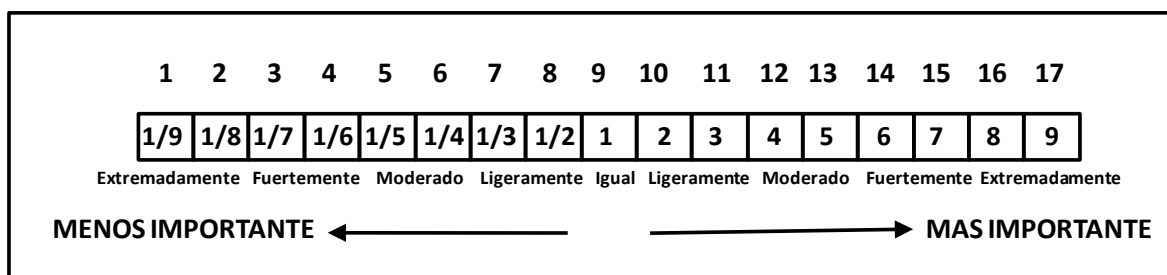


Figura 2.41. Escala de 17 jerarquías de importancia relativa para la construcción de la matriz de comparación entre pares de factores o variables decisión (Díaz, 2000)

Cuadro 2.18. Escala de evaluación en AHP

Escala de Saaty (1990)	
Valor	Significado
9	A es extremadamente más importante que B
7	A es mucho más importante que B
5	A es más importante que B
3	A es levemente más importante que B
1	A y B tienen la misma importancia
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes

Una vez obtenidas las prioridades totales de las alternativas, el AHP permite evaluar la inconsistencia del decisor a la hora de emitir sus juicios. La medida de inconsistencia propuesta en Saaty (1990) está representada por el índice de consistencia (IC) o error de una matriz pareada; si este es menor al 10% (índice >0.1) la inconsistencia o error se considera aceptable (Sipahi 2010, Berumen 2007, Rozman, 2005, Moreno-Jiménez, 2003, Saaty, 2001,1990). En el Cuadro 2.19 se presenta la matriz de comparación y los pesos obtenidos a partir de la evaluación con la técnica multicriterio aplicada a la zona cañera.

Cuadro 2.19. Matriz de ponderación de variables

Variabes	Clima	Indice de Sequia	Lluvias	Temperatura	Tipo de suelo	Pendiente	Altitud
Clima	1	2	2	2	4	3	5
Indice de sequia	0.50	1	2	3	5	2	4
Lluvias	0.50	0.5	1	9	7	3	9
Temperatura	0.5	0.33	0.11	1	2	2	2
Tipo de suelo	0.25	0.20	0.14	0.5	1	2	2
Pendiente	0.33	0.5	0.33	0.5	0.5	1	2
Altitud	0.2	0.25	0.11	0.5	0.5	0.5	1

El análisis que surge de esta comparación indica que las variables precipitación (lluvias), clima e índice de sequía son las que se consideran más relevantes para el desarrollo de la producción cañera. Marini *et al.* (2009) determinaron que los factores climáticos (radiación solar, deficiencia hídrica, temperatura máxima, precipitación y temperatura mínima) explican por lo menos el 43% de la variabilidad de la eficiencia de la producción agrícola de caña de azúcar; el resto es explicado por el suelo (15 %) y otros factores de manejo del cultivo y socioeconómicos (42 %). Sánchez *et al.* (2002) encontraron que el rendimiento del cultivo, en zonas de abundante precipitación, está determinado por las clases de tierra y características edafológicas (alto contenido de materia orgánica, drenaje, textura, y pH) en 62 a 68 %. En estas condiciones, el factor precipitación pluvial afecta a la producción del cultivo del 27 al 34% y en cada clase de tierra está influenciado en más de 80% por el ciclo del cultivo. Es decir, el factor suelo expresado en términos de clases de tierras es más importante que el factor clima (precipitación pluvial sin límites). De este modo, para evitar la controversia para la Huasteca Potosina se generaron los "pesos" para cada factor a partir de una matriz de comparaciones por pares y se determinó el impacto de estos factores en forma particular para esta región. El resultado se observa en el Cuadro 2.20 y en el mapa de zonificación (Figura 2.42).

Cuadro 2.20. Pesos de las variables de zonificación cañera (nivel de inconsistencia 0.05, aceptable por AHP)

Variabes de aptitud al cultivo de caña de azúcar	Peso
Lluvias	0.379
Clima	0.205
Índice de sequia	0.173
Temperatura	0.082
Pendiente	0.066
Tipo de suelo	0.06
Altitud	0.036
Suma	1.000

Del total del nivel de aptitud el 75.7 % es explicado por las variables precipitación (lluvias), que a su vez es la variable de mayor peso (37.9 %), elementos del clima e índice de sequía seguido de las variables edafológicas: pendiente, tipo de suelo y altitud; esto es

contrario a lo reportado por Sánchez *et al.* (2002) para zonas cañeras sin restricciones climáticas o con disponibilidad de riego. En este sentido, Santé-Riveira (2005) concluyó que la aptitud de la tierra para usos agrícolas depende cada vez menos de los factores edafológicos. El fitomejoramiento y la capacidad de mejorar las condiciones naturales de los suelos han provocado que actualmente los factores más restrictivos para la implantación de un cultivo o aprovechamiento sean de carácter social, económico o político, ya que la Huasteca Potosina, como área cañera, se caracteriza por estar compuesta de pequeñas superficies minifundistas (<3.0 ha por productor) y alta dispersión y variabilidad en el campo, lo cual dificulta el control de la maduración; a esto se puede añadir el manejo agronómico diverso, el retraso en la época de aplicación del fertilizante, y la falta de renovación de las variedades de caña de azúcar en campo. Es decir, además de las características climáticas tales como la lluvia, y otros aspectos como la topografía y las condiciones reales del suelo, se debe examinar la presencia de factores socioeconómicos limitantes a fin de poder considerar las implicaciones que puede acarrear la adopción de ciertas prácticas agrícolas.

Este resultado puede, a mediano plazo, dirigir la planificación integral de una zona de interés mediante la determinación y diferenciación de ambientes productivos (Cuadro 2.21). Debido a la homogeneidad en la toma de datos y a las posibilidades de procesamiento de la información obtenida, la EMC puede integrarse con otras fuentes provenientes de diversos campos de estudio (como el uso de índices de vegetación, firmas espectrales y clasificaciones) para generar otros productos todavía más específicos y precisos de forma espacial. Si se tiene en cuenta la variabilidad de los factores productivos se puede hacer un manejo más eficiente del cultivo, lo que permitiría la aplicación de insumos acorde con las necesidades y el potencial de los predios cañeros. Esto tiene relación con autores como Murillo, (2009) quien menciona que la interacción ingenio-zona agroecológica evidencia que el manejo agronómico, la evolución y el efecto de las prácticas agronómicas tienen un peso considerable en la respuesta espectral del cultivo de la caña y, por lo tanto, en la productividad.

Cuadro 2.21. Superficie cañera por aptitud

Aptitud	Área (ha)	% Total
Alta (Mayor a 70 t/ha)	43,767.7	49.09
Media (70 a 60 t/ha)	11,795.6	13.23
Baja (60 a 50 t/ha)	9,352.7	10.49
Muy Baja (Menor a 50 t/ha)	24,224.2	27.17
Total	89,158	100.00

La metodología desarrollada puede ser utilizada como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en los procesos de planificación del área cañera, pues acota la superficie sobre la cual se deben realizar estudios más intensivos, y puede ser replicada en otros escenarios, y a la vez ser enriquecida a través de la inclusión de nuevos criterios y variables que se ajusten mejor a la realidad estudiada.

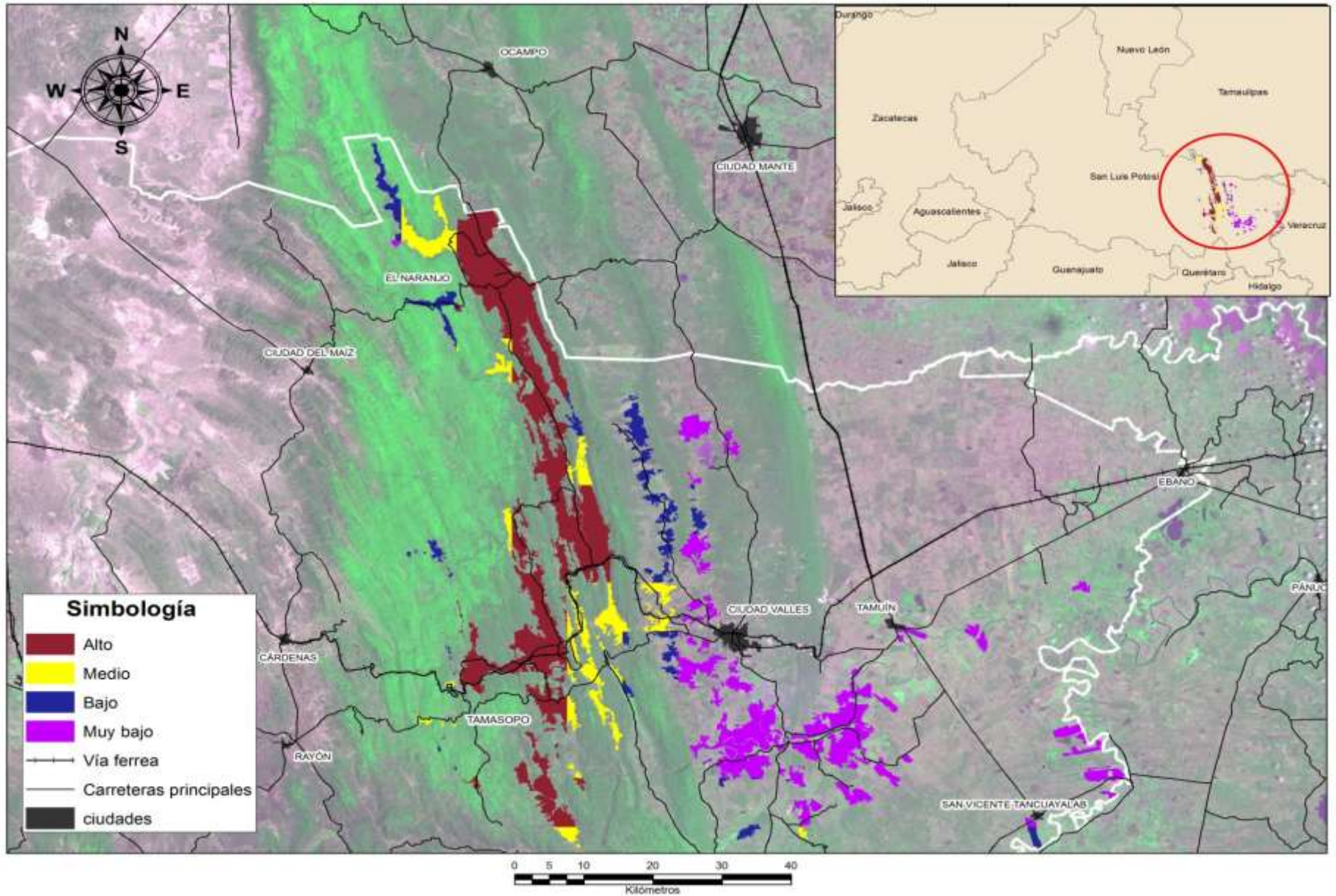


Figura 2.42. Distribución espacial de la superficie cañera de la Huasteca Potosina por aptitud al cultivo bajo condiciones de seco

Dentro del mapa resultante se pueden distinguir claramente las zonas con una alta probabilidad de obtener buenos resultados debido a sus características edáficas y climáticas ya que permite una visión amplia y panorámica de las posibilidades de manejo del cultivo. Esta macrozonificación debe ser considerada como referencial para la planeación de actividades de manejo (variedades, riego, fertilización, mecanización, compactación de superficies etc.).

Del total de la superficie cañera, la mayor distribución espacial presenta aptitud al cultivo de caña y se localiza principalmente en zonas de reciente incorporación (década de 1980 y 1990) al cultivo en El Naranjo, Ciudad Valles (Plan de San Luis) y Tamasopo, y el resto corresponde a zonas más antiguas (década de 1960 y anteriores al siglo XX) en Tamasopo y Ciudad Valles (Plan de Ayala), cada una localizada alrededor de un polo o un eje (ingenio azucarero) formando un patrón espacial donde se concentraron los productores. Es decir, la Huasteca Norte y Centro son las áreas que registran el mayor incremento en su superficie dedicada al cultivo al transformarse en áreas de influencia o abasto de los ingenios (Figura 2.43). Este proceso comenzó desde los sectores de tierras fértiles y agricultores con tradición agrícola, y avanzó gradualmente hacia los sectores más marginales para dicha explotación.

Sin embargo, se presentan discrepancias en relación con la tasa de crecimiento, que no concuerdan con los resultados de otros trabajos (Cuadro 2.22); es decir, la información oficial presenta una baja calidad espacial y, por lo tanto, ha sido de poca utilidad para planear el uso del recurso. Por ello, para localizar, cuantificar y analizar la transformación y expansión del cultivo de caña de azúcar ocurrida en la región Huasteca Potosina, se interpretaron imágenes de satélite Landsat MSS de 1973 y 1985 y una imagen ETM+ de 2000 y junto a la interpretación de 2005 y SPOT 2007 se obtuvieron los polígonos cañeros que establecen el crecimiento espacial en cuatro décadas. En ambos procedimientos se emplearon los programas ILWIS 32.2 y ArGis 9.

Cuadro 2.22. Superficie cañera (1973-2009)

CNIAA	Análisis Espacial	AÑO
18,437	19,678	1973
63,893	78,656	1990
71,758	89,158	2009

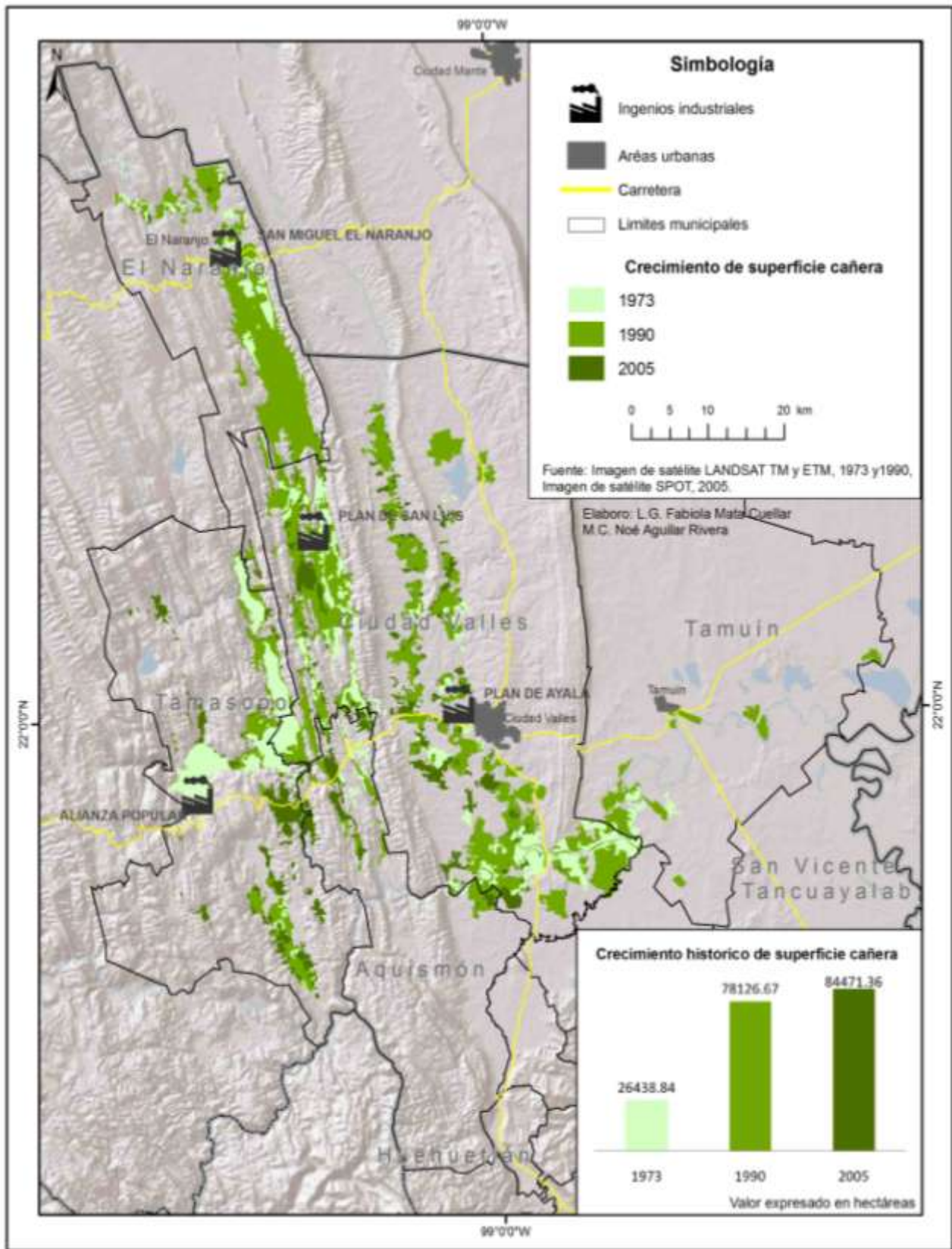


Figura 2.43. Crecimiento espacial de las zonas cañeras de la Huasteca

Este cultivo fue introducido a la zona en el siglo XVI por los españoles. El desarrollo industrial azucarero en la Huasteca inicia sistemáticamente en el siglo XIX (en 1888), cuando se estableció el primer ingenio azucarero denominado *Compañía Manufacturera y Desarrolladora Rascón* el cual posteriormente se transformó en *The Rio Tamasopo Sugar Company Agua Buena* o *Ingenio Agua Buena* (1903) hasta su reestructuración en *Ingenio Alianza Popular* en 1975. El Ingenio Rascón, que elaboraba panela y aguardiente, cierra la industria en 1939 (Aguilar, 2010).

La actividad ingresa en un proceso acelerado de modernización y expansión de la superficie cañera por la creación del Ingenio Plan de Ayala en 1963, en la planicie de Ciudad Valles y El Naranjo, y en el norte del municipio de Aquismón. El cultivo de caña de azúcar tuvo un punto de inflexión más marcado en las décadas de los setenta y ochenta con la construcción de los ingenios Alianza Popular (1975), Ponciano Arriaga (hoy San Miguel El Naranjo) (1975) y Plan de San Luis (1984) como parte de la política azucarera, donde el Estado asumió el papel de "promotor" del proceso económico a través del estímulo al sector privado mediante políticas de carácter proteccionista y la aplicación del modelo de "Sustitución de Importaciones" para que la industria azucarera pudiera avocarse más eficazmente a la resolución de los problemas tradicionales, como lo eran la relocalización de ingenios azucareros, la renovación y modernización del equipo industrial y agrícola, y el aumento de la producción en fábrica y en campo; bajo este esquema se promovería el objetivo de que el cultivo de caña de azúcar se realizara de forma intensiva y no extensiva. La producción azucarera satisfaría la demanda de los mercados nacional y extranjero. Este proyecto solo se generalizó en la Huasteca en la forma de incrementos constantes en la superficie cañera y producción de azúcar en los cuatro ingenios a pesar de tener indicadores productivos por debajo de la media nacional desde sus inicios (Paré, 1987) (Figura 2.44).

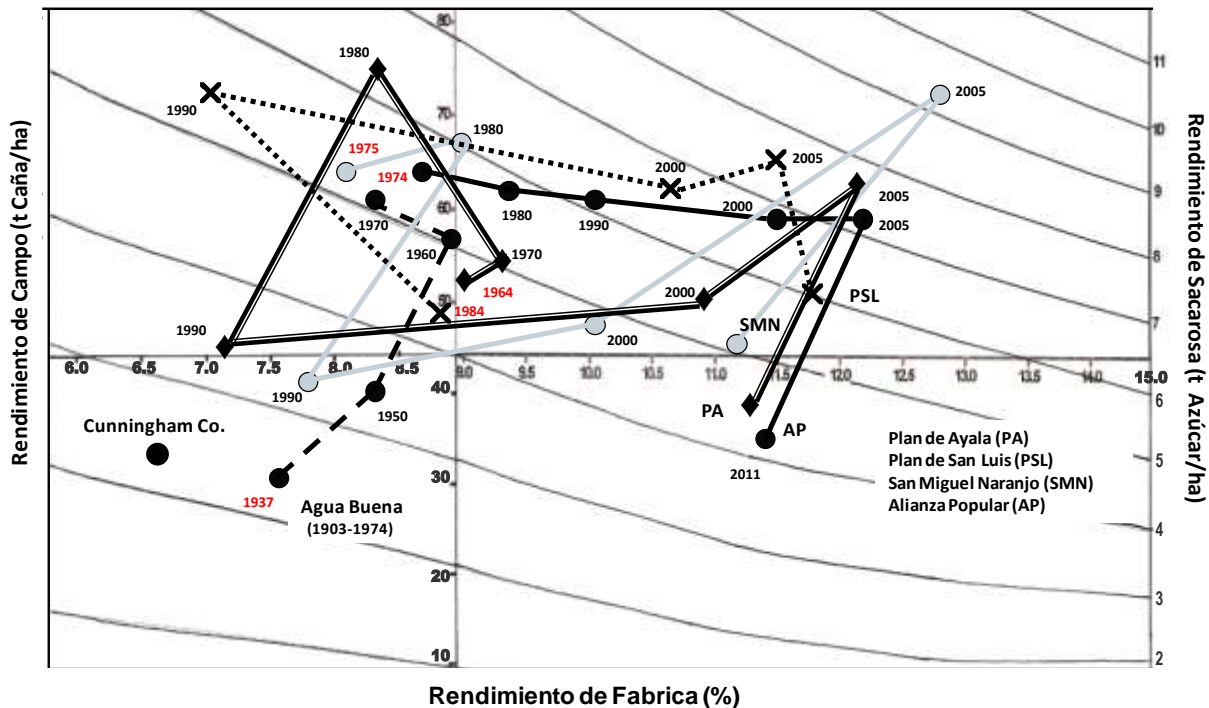


Figura 2.44. Desarrollo Histórico y productividad de la agroindustria azucarera de la Huasteca Potosina periodo 1937-2010 (Elaborado con datos del Manual Azucarero Mexicano 1958-2011 y la Metodología de CENICAÑA, 1995)

2.9. Zonificación Edafológica

Los suelos son al mismo tiempo la base de la producción agrícola y de los ecosistemas. La calidad de un suelo se define por su capacidad para sustentar y mantener una determinada productividad.

La variación del suelo entre unidades productivas ha sido detectada a través de muestreos y levantamientos agroecológicos, con la consecuente estimación de los límites de unidades espaciales. Para ello se han utilizado muestras compuestas por lotes; en algunos casos se ha realizado en forma de puntos aleatorios y en otros en forma de puntos de seguimiento permanente. Esta técnica tiene el defecto de subestimar o sobreestimar los resultados de los análisis al utilizar un valor único o promedio, sin tomar en cuenta su variación en el espacio real. La variabilidad espacial de suelos y la predicción de valores en puntos no muestreados se genera a través de interpolaciones, herramienta de SIG muy utilizada en conjunto con las metodologías de muestreo. En particular, la interpolación con análisis geoestadístico se basa en la teoría de las variables regionalizadas y en su dependencia y autocorrelación, bajo un marco de variabilidad espacial (Henríquez, 2005).

Algunas funciones del suelo en relación con la agricultura son como soporte de las plantas, reciclador de residuos orgánicos, regulador del agua y de la temperatura (filtro, flujo, almacén de agua y nutrientes, etc.) y hábitat de microorganismos. Los criterios de diagnóstico que utilizan los agricultores para definir las clases y calidad de tierras, están

relacionados con las características del horizonte superficial: color, textura, capacidad de infiltración del agua, retención de agua y fertilidad del suelo. Algunas limitaciones como la pedregosidad, baja fertilidad y retención de agua, entre otras, permiten a los agricultores diferenciar cuales son las mejores tierras para sus cultivos. Así, para un agricultor cañero, un buen suelo es aquel que le permite producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea por año (Galdámez, 2007).

En este sentido, Astier *et al.* (2002) indican que un suelo fértil debe definirse como aquel que conserva las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables mientras abastece adecuadamente a la planta de agua y nutrimentos, además de proveerle de sostén mecánico. Es decir, un suelo fértil es aquel cuya producción sin fertilización es elevada o produce un incremento rentable del rendimiento con una dosis relativamente baja; en cambio un suelo pobre, es aquel en el cual la no fertilización implica obtener una muy baja producción particularmente en cañas soca y resoca.

El cultivo de la caña de azúcar puede desarrollarse en una amplia diversidad de suelos sin embargo, unos presentan mejores características que otros para el desarrollo favorable de la caña. Es preferible que los suelos sean fértiles, y que no muestren problemas serios de deficiencias o desbalances minerales; sin embargo, si presentan niveles de fertilidad bajos, los inconvenientes pueden solucionarse añadiendo los nutrimentos requeridos. Por esta razón, el análisis del suelo antes de la plantación es recomendable para determinar la cantidad óptima de aplicación de macro y micronutrimentos.

La caña de azúcar, al igual que el resto de las plantas, requiere elementos esenciales para su adecuada nutrición, debido a su elevada capacidad de producción de material vegetal (tallos, follaje, cepas y raíces) y a la prolongada duración de su ciclo. Un elemento esencial es aquel cuya ausencia causa la alteración en el desarrollo normal de la planta, según el papel que cumpla a nivel fisiológico, y altera en mayor o menor grado el rendimiento (industrial o agrícola).

Una parte de los elementos son generalmente adquiridos por la planta de la atmósfera y del agua; estos son el carbono (C), el hidrógeno (H), y el oxígeno (O). Los otros nutrimentos, clasificados en macronutrimentos y micronutrimentos, los aporta el suelo si están disponibles; de lo contrario, deben agregarse como fertilizantes para que los absorban las raíces o por vía foliar.

Con el fin de aumentar la producción de azúcar se requiere conocer la ubicación espacial de los suelos, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como los procesos pedogenéticos. El contenido de materia orgánica (MO) presenta una tendencia a disminuir con el paso de los años de cultivo de la caña de azúcar.

Simbad (1972) menciona que después de desmontar una selva, el contenido de MO desciende en los primeros años de 25 a 50%; esta reducción se hace más lenta y progresiva durante el tiempo del cultivo, hasta alcanzar un valor estable después de 15 años. Sin embargo, las fuentes de MO pueden disminuir a una alta velocidad por las prácticas de eliminar los residuos de la cosecha mediante quema. Lo anterior demuestra que la MO es un índice confiable para evaluar la fertilidad y/o degradación del suelo y que

está estrechamente relacionada con el tiempo de cultivo con caña de azúcar (Armida-Alcudia *et al.*, 2005).

Los suelos de la región se clasifican en el Manual Azucarero Mexicano (CNIAA, 2010) como vertisoles, cambisoles, gleysoles y feozems; en la mayor parte de la zona es dominada por los vertisoles.

Los vertisoles (del latín *vertere*, que significa voltearse), se asume también que se renuevan constantemente debido a la cantidad y tipo de arcilla (esmectitas, arcillas expandibles) son suelos que presentan un horizonte vértico bien manifiesto, tienen 30 % de arcilla o más en todos los horizontes hasta una profundidad de 100 cm o más, o hasta una capa contrastante (contacto lítico, o paralítico, horizonte petrocálcico, petrodúrico o petrogípsico, discontinuidad sedimentaria, etc.) entre 50 y 100 cm; y grietas que se abren y cierran periódicamente. Se conocen también como suelos arcillosos oscuros plásticos, profundos, muy duros y compactos cuando secos, y plásticos cuando húmedos, y presentan muy típicamente estructura de bloques prismáticos que pueden alcanzar hasta 20 – 30 cm de tamaño con superficies brillantes en las caras de los bloques que se denominan *slickensides* o caras de deslizamiento (Ascanio, 2008).

Basado en los requerimientos edáficos de fertilidad del cultivo (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc, manganeso, pH del suelo, materia orgánica, sodio, acidez intercambiable y carbonato de calcio), se utilizaron los datos del proyecto: “*Digitalización del Campo Cañero en México para Alcanzar la Agricultura de Precisión de la Caña de Azúcar*” realizado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el Colegio de Postgraduados (COLPOS), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y los puntos de muestreo de los análisis de los suelos cañeros y recomendación de fertilizantes en las zonas de abasto de los cuatro ingenios, para determinar cuáles unidades cartográficas de fertilidad de suelos son óptimas, moderadas y no óptimas para el cultivo de caña en la Huasteca Potosina (Figura 2.45).

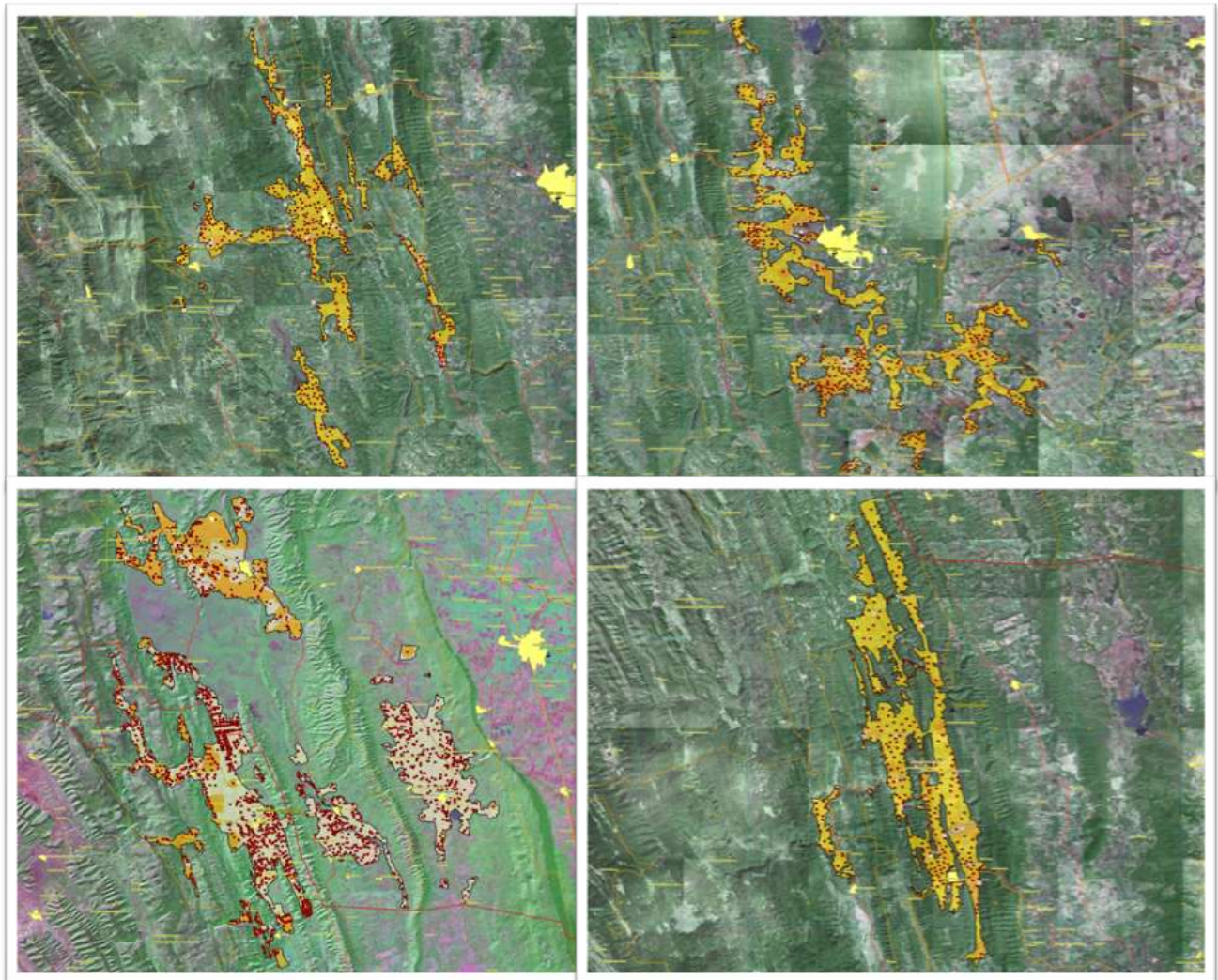


Figura 2.45. Puntos de muestreo de suelos (COLPOS, 2009)

Una vez obtenida la información edáfica, se procesó en una base de datos compatible con un Sistema de Información Geográfica (SIG); el fin fue generar información cartográfica correspondiente a cada variable de suelo con grados de aptitud diferenciados de acuerdo con la *Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis (NOM-021-RECNAT-2000)* y los datos de fertilidad y aptitud (Cuadro 2.23). Así, por medio de los interpoladores, se pudieron representar las propiedades del suelo en forma continua y cuantificar la importancia de esta variación sobre el cultivo de caña de azúcar.

Cuadro 2.23. Niveles de aptitud para caña de azúcar (Quintero 2008; Ortega 2007; Wahid, 2004; Hunsigi, 2001; ICA, 1992; Vázquez 1987; Chávez, 1999; Humbert, 1974; Fauconnier, 1975; Dillewijn, 1978).

Propiedad	Alta	Media	Baja	No apta
pH	6.6 – 7.3	6.1 – 6.5, 7.4 -8.3	5.6 -6.0, > 8.3	< 5.5
CIC (meq/100g)	> 20	15 - 20	15-10	< 10
Materia orgánica (%)	> 5	3-5	2-3	1-2
N (%)	>0.4	0.1 - 0.4	0.032 – 0.1	< 0.032
P (ppm)	>40	39-18	17-9	<9
K ppm	>468	468-82	82-42.9	<39
Ca (ppm)	>2004	1002-2004	400-1002	<400
Mg (ppm)	>365	158-365	60-158	<60
Cu (ppm)	1.2-2.5	0.8-1.20	0.3-0.8	<0.3
Fe (ppm)	16.0-25.0	10.0-16.0	5.0-10.0	<5.0
Mn (ppm)	29.0-50.0	14.0-29.0	5.0-14.0	<5.0
Zn (ppm)	5.0-8.0	3.0-5.0	1.0-3.0	<1.0
Na (ppm)	<345	345-575	575-920	>920

Una vez obtenidos los resultados de la interpolación, se elaboraron los mapas correspondientes para visualizar la variación espacial de los atributos estudiados. La integración del mapa de variables edáficas constituye la zonificación agroecológica del cultivo de caña en la Huasteca Potosina como resultado del efecto que ha tenido el manejo agrícola sostenido por más de 40 años.

Los mapas de suelos según su aptitud para el cultivo de caña forman parte de la síntesis cartográfica. Como resultado de esta síntesis se obtuvo el mapa de fertilidad y aptitud para el cultivo de caña por zona de abasto de los cuatro ingenios (Figura 2.46 y Cuadro 2.24).

NIVEL DE APTITUD PARA CAÑA DE AZUCAR

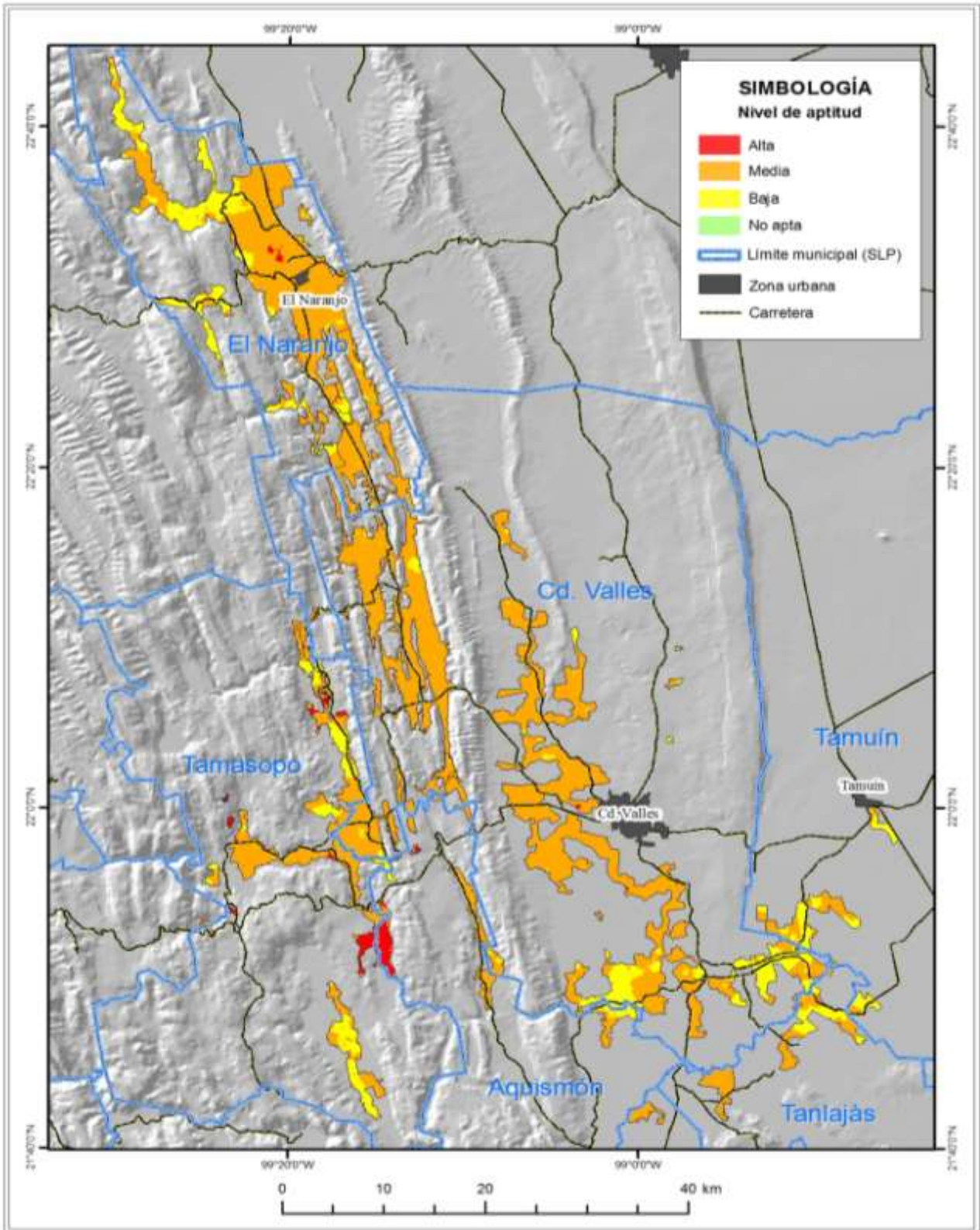


Figura 2.46. Aptitud edafológica al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca Potosina

Cuadro 2.24. Aptitud edafológica al cultivo de caña de azúcar de los ingenios azucareros en la Huasteca Potosina

Productividad Ingenio	Superficie (ha)	Alta		Media a baja		Muy Baja	
		ha	%	ha	%	ha	%
Alianza Popular	16,751	1,601.4	9.56	12,231.6	73.02	2,916.4	17.41
Plan de Ayala	30,949	37.14	0.12	24,007.14	77.57	6,904.7	22.31
Plan de San Luis	17,228	18.95	0.11	16,220.2	94.15	988.9	5.74
San Miguel	18,761	983.1	5.24	9,519.4	50.74	8,258.6	44.02
Total	83,689	2,640.59	3.16	61,978.34	74.06	19,068.6	22.79

En la figura 2.46 se observa que más del 74% de la superficie evaluada permite el uso agrícola cañero de forma sostenida. De ella, solamente 2640.59 ha (3.16%) presenta la clase «apta o alta», mientras que un 22,8 % pertenece a la clase «marginamente apta o muy baja»

En relación con la aptitud de los suelos al cultivo de caña, COLPOS (2009) reportó que esta región productora está configurada en su mayoría por zonas montañosas y cerriles; las partes planas se limitan a valles intermontanos y planicies. El tipo de suelo que predomina es de espesor variable y tiene permeabilidad moderada estable, con altos contenidos de arcilla, color rojizo a café rojizo, ricos en cuarzo y óxidos de hierro y son del grupo Vertisoles. Estos suelos durante el estiaje son duros, y presentan grietas anchas y profundas, con colores variados entre negro, rojizo y gris. Tienen una capa superficial en materia orgánica, son profundos y su susceptibilidad a la erosión es moderada.

En el área de abasto de los ingenios todavía se encuentran suelos con suficiente cantidad de materia orgánica (Figura 2.47), lo cual favorece una serie de condiciones físicas apropiadas para la producción de la caña; pero si no se tiene el cuidado de preservarla a través de prácticas de manejo adecuadas (aportes de los residuos de cosecha, compostas de los materiales de desecho de la agroindustria, entre otros), dicha condición se perderá paulatinamente causando problemas de compactación, aireación y disminución de la productividad, lo cual puede ya estar ocurriendo en varios predios de la zona, donde se acentúan problemas de baja capacidad de almacenamiento de agua y baja productividad en general, sobre todo en Plan de Ayala y El Naranjo.

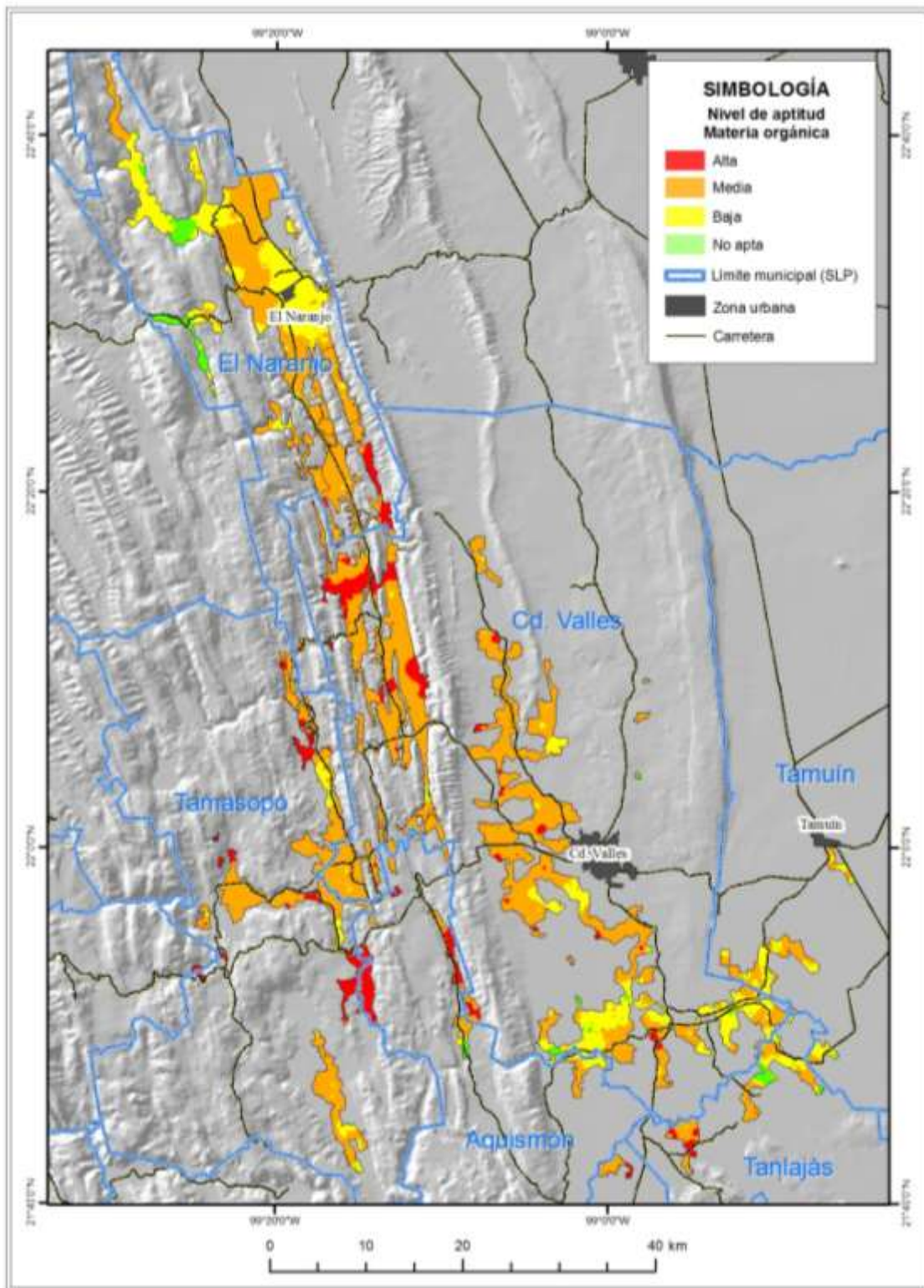


Figura 2.47. Materia Orgánica en la Huasteca Potosina

Un factor que también es necesario tomar en cuenta es el ambiente químico edáfico. Los valores de nitrógeno disponible indican que, para el nivel de rendimiento de la caña de azúcar en la región, la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada varía de muy alta a moderada; en otras palabras, se requiere aplicar fertilizante nitrogenado para mantener o incluso incrementar la productividad del sistema de producción (Figura 2.48).

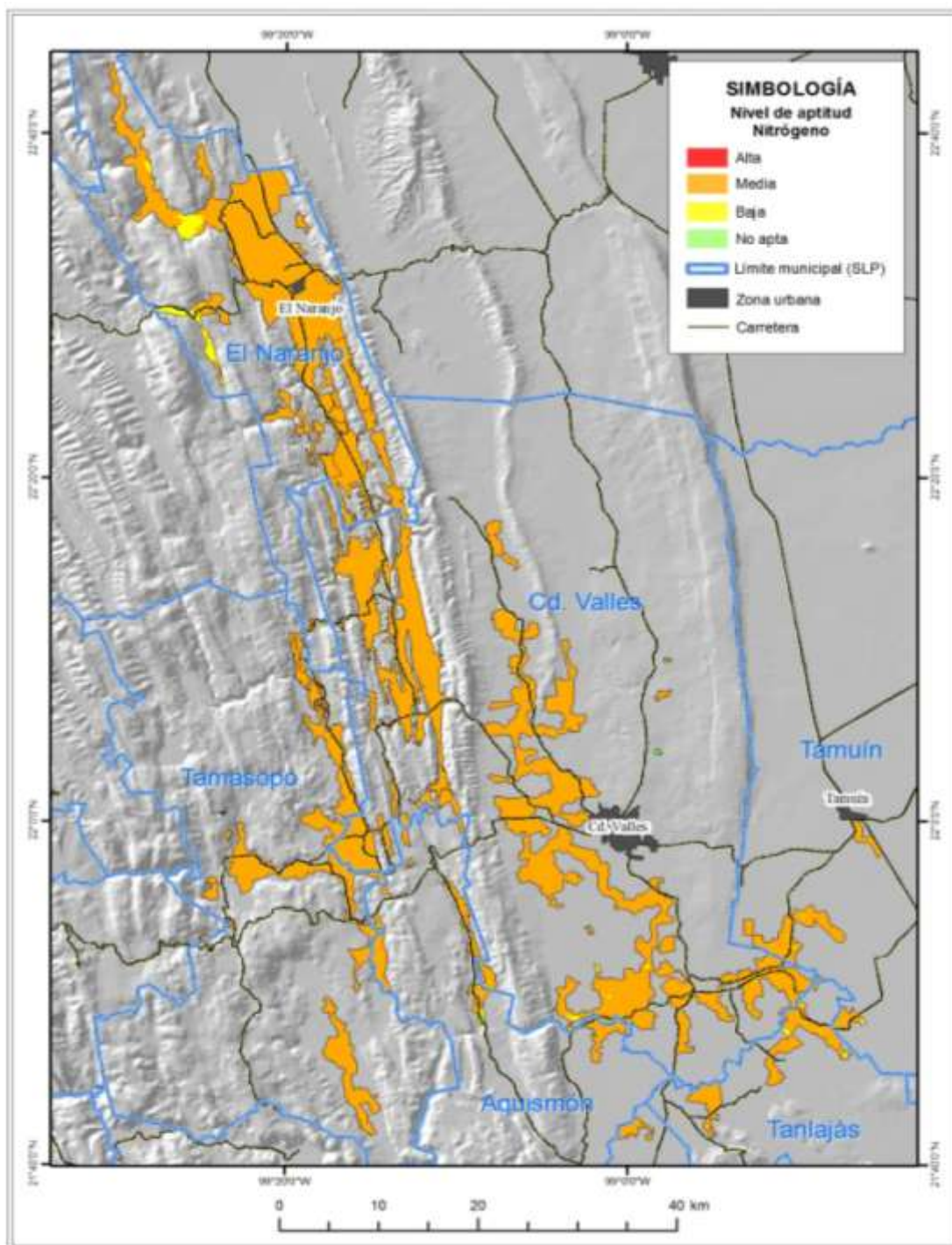


Figura 2.48. Nitrógeno disponible en la Huasteca Potosina

En relación al fosforo COLPOS (2009) reportó que, en la mayoría de los predios se encontró una baja concentración de fósforo en el suelo, excepto en la zona de El Naranjo lo cual se atribuye al efecto residual inducido por el historial de fertilización de los terrenos y al ser una zona cañera de incorporación reciente (Figura 2.49).

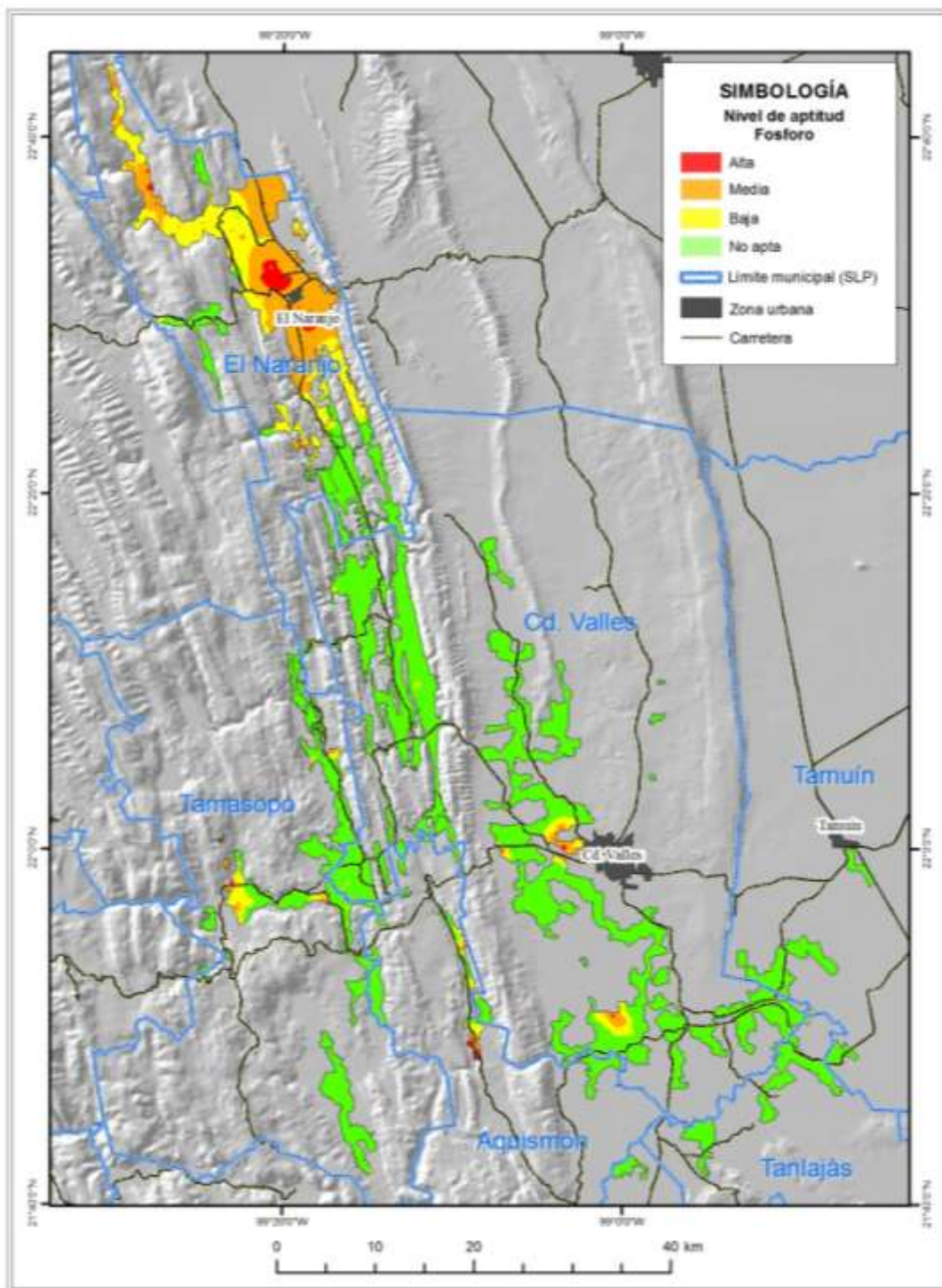


Figura 2.49. Fosforo disponible en la Huasteca Potosina

Para potasio (Figura 2.50) se encontró una abundante cantidad, sobre todo en vertisoles; sin embargo, esto no es una regla general en terrenos cultivados (las mayores variaciones se observan en las zonas de El Naranjo y sur de Tamasopo y Ciudad Valles), ya que la cantidad de potasio depende de las prácticas de manejo. El potasio prácticamente no se mueve en los suelos arcillosos porque rápidamente es adsorbido en el complejo de intercambio e impide su desplazamiento hacia las partes inferiores del perfil del suelo. Además, como no se pierde por volatilización durante las quemadas provocadas en las zafras (caso contrario al nitrógeno), el potasio contenido en la biomasa remanente después de la cosecha se reintegra al suelo. Entonces, las vías por las que sale este nutriente del suelo son básicamente dos: a) la cantidad de potasio contenida en los productos cosechados y; b) las pérdidas que se producen por erosión. Sin duda alguna la cantidad de este nutriente se abatirá a través del tiempo si no se toma la precaución de reponerla mediante la adición de materiales fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos

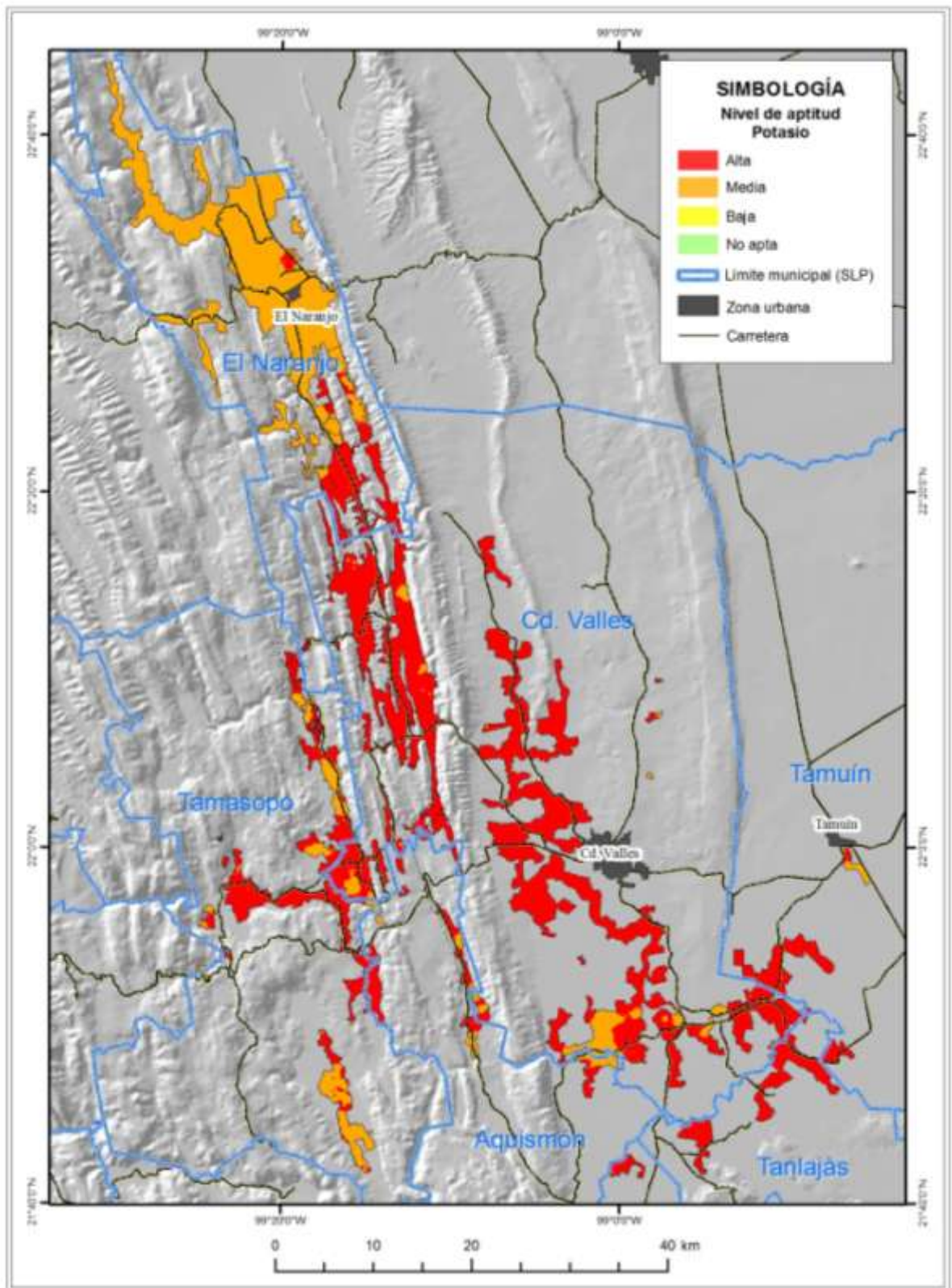


Figura 2.50. Potasio disponible en la Huasteca Potosina

La zonificación edafológica proporciona las bases para la estimación de los rendimientos potenciales y para la evaluación de la aptitud de tierras y los requerimientos para el manejo que tienen relación con la cantidad y, cuando es necesario, con la calidad de la cosecha, el desarrollo fotosintético del cultivo de caña de azúcar, el crecimiento y el rendimiento (Quintero, 2008).

Si bien, hasta este punto se confirmó la eficiencia de las metodologías tradicionales de muestreo y la aplicación de la estadística tradicional con base en la fertilidad para este cultivo, estas no son capaces de ofrecer una visión espacial de esta variación, pues se parte del supuesto que toda el área muestreada posee el mismo valor promedio para las variables de interés, lo cual no es del todo cierto. Al llevar a cabo el análisis geostadístico se encontró que las variables de fertilidad evaluadas para los suelos cañeros están autocorrelacionadas y que en el espacio se establecen gradientes para cada una de las variables de fertilidad estudiadas. Es decir, los mapas de fertilidad representan espacial y visualmente la zonificación edafológica cañera, con la diferencia de que permiten detectar en cada una de las áreas, no un valor único de fertilidad, sino gradientes de concentración que representarían el comportamiento que ocurriría normalmente en la naturaleza. Lo anterior sugiere un manejo a nivel de sitio específico e incluso a nivel de áreas por ingenio y dentro de cada lote, identificando zonas dentro de cada lote con limitaciones importantes que afecten al rendimiento y la productividad (Henríquez, 2002). Se concluye que la distribución espacial de las características químicas asociadas con la fertilidad del suelo, está fuertemente ligada al manejo agronómico y que la herramienta de interpolaciones demostró ser útil para predecir esta distribución en el área cañera.

2.10. Productividad de la zona cañera de la Huasteca Potosina por Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) se considera un buen estimador de la biomasa y ha resultado el índice verde más consistente para clasificación y seguimiento de la vegetación en los ambientes y situaciones más diversos; se utiliza ampliamente para evaluar de manera rápida, en escala regional, la productividad de los cultivos, con un nivel aceptable de precisión; tiene alta correlación con el contenido de humedad de la planta y puede ser aplicado, incluso en la agricultura de precisión para dar seguimiento a las variaciones del crecimiento, como indicadores del estrés a que está sometido el cultivo el cual afecta indirectamente, a su productividad (Xavier, 2004; Benefetti, 1993).

Tucker (1979) fue de los primeros autores en reportar el uso de índices de vegetación como el NDVI el cual fue desarrollado originalmente para evaluar la productividad en pastos por Rouse *et al.* (1973) en el dominio espectral, direccional, temporal y espacial de las propiedades biofísicas de los cultivos (Schaeppman, 2005). Las numerosas revisiones bibliográficas y trabajos derivados lo ubican como un aceptable bioindicador a nivel de cobertura, que ha demostrado el potencial que posee para estimar el contenido de humedad de las hojas y otras variables fisiológicas.

Los índices de vegetación son básicos en percepción remota, por la relación entre la alta reflectancia de la banda del infrarrojo cercano, entre 700 y 1,300 nm; y la alta absorción del visible, entre 400 y 700 nm, sobre todo en el rojo debido, fundamentalmente, a la

clorofila de las hojas que absorben las longitudes de onda del rojo y azul, y con un aumento en la reflectancia en el verde, alrededor de 550 nm (Chuvienco, 1996). Por esta razón, en vegetación no vigorosa la clorofila no absorbe significativamente y la hoja se torna un color amarillento (verde + rojo), es decir Según Tucker (1979) las combinaciones rojo-IR tienden a ser más importantes que las combinaciones verde-rojo y más sensibles a la cantidad de vegetación fotosintéticamente activa; esto es, sirven como un indicador de la biomasa de hojas verdes (Figura 2.51). Es precisamente este contraste entre ambas regiones espectrales, fundamental para ser considerado como método para identificar la distribución espacial de la zona cañera, y su estado, como punto de partida para un futuro seguimiento

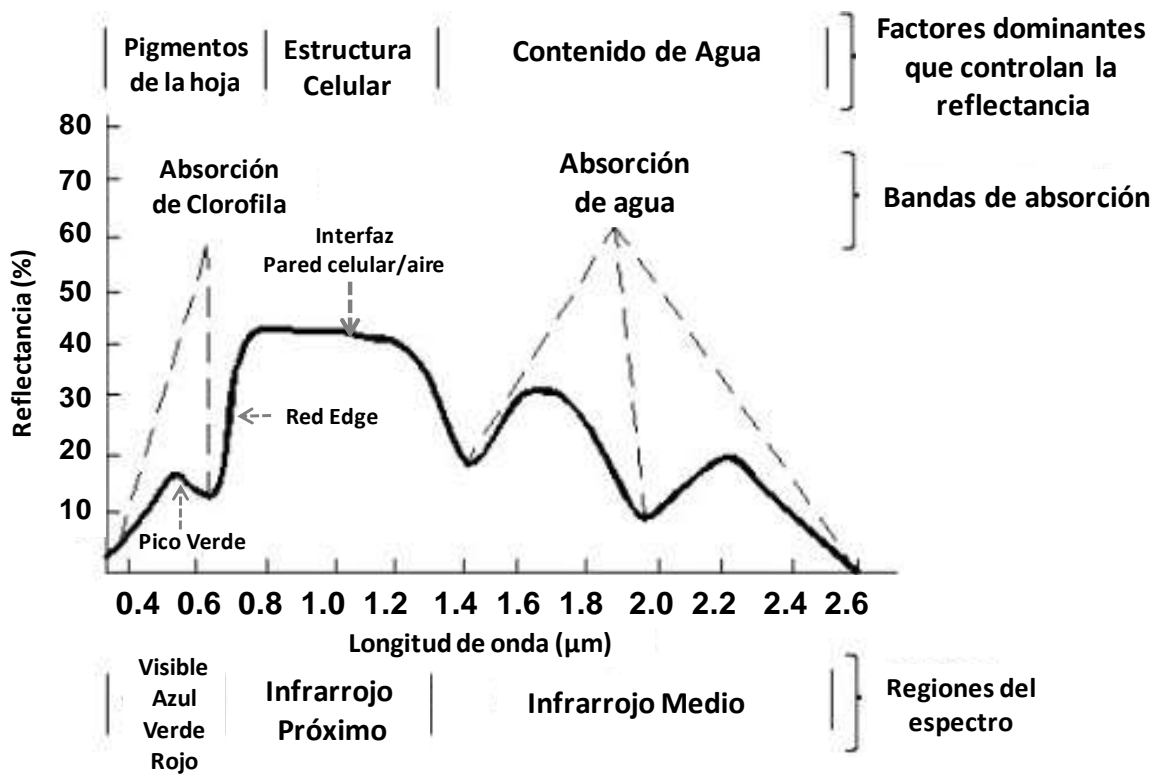


Figura 2.51. Curva estándar de la reflectancia de la vegetación (Adaptado de Hoffer, 1978).

Santos Simões (2005) observó que la mayoría de los cultivos, los índices de vegetación son poco sensibles cuando la cobertura es inferior al 50% por lo contrario, el NDVI es más sensible a pequeños porcentajes de cobertura de la vegetación, lo que demuestra que probablemente es el más apropiado para dar seguimiento a las primeras etapas del desarrollo y maduración de cultivos; asimismo, el NDVI es más sensible al ambiente medio o a un nivel bajo de humedad que otros índices como el Enhanced Vegetation Index (EVI), pues minimiza la influencia de otros factores externos, tales como las propiedades ópticas del suelo, la irradiancia solar, etc. (Murillo, 2009). Es decir, el índice de vegetación intenta maximizar la contribución espectral de los cultivos y minimizar el efecto de reflectancia del sustrato o suelo o de otros factores como variaciones en la radiación solar, los efectos

atmosféricos, las contribuciones de la vegetación no fotosintética activa, y la composición y estructura del dosel (Major *et al.*, 1990).

Los valores de NDVI oscilan entre -1 a 1 (De Lira, 2009), pero en la práctica se encuentra entre -0.1 y 0.7 (Rahman, 2004) (Cuadro 2.25). Según Dos Santos Simões (2005), el índice NDVI es la variable espectral que tiene un alto grado de correlación con los parámetros agronómicos asociados con el desarrollo y productividad de las plantas. Por lo tanto, el NDVI puede contribuir a la evaluación del desarrollo de la planta de caña de azúcar y al seguimiento del rendimiento debido a la relación directa entre la productividad y el comportamiento espectral de la caña de azúcar (Abdel-Rahman, 2008; Knop, 2007; Lucas, 2007 y Picoli, 2006).

Se define como:

$$NDVI = (\rho_{i,IRC} - \rho_{i,Red}) / (\rho_{i,IRC} + \rho_{i,Red})$$

Donde: $\rho_{i,IRC}$ y $\rho_{i,Red}$ indican las reflectividades del píxel *i* en la banda del infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente. Implica efectuar una división píxel (el menor elemento en que puede descomponerse una imagen en una pantalla) a píxel entre los niveles digitales almacenados en dos a más bandas de la misma imagen.

Cuadro 2.25. Escala NDVI para caña de azúcar (Rahman, 2004)

Valor	Significado
<0.2	Muy Bajo
0.2-0.25	Bajo
0.25-0.30	Moderado
0.30-0.40	Bueno
>0.40	Muy Bueno

Para el cultivo de caña de azúcar existen dos estimaciones dentro de la banda del rojo y tres en el infrarrojo cercano: ρ_{NIR} , equivalente a la reflectancia promedio de 730 - 805 nm, e individual de 725 y 810 nm. En la banda del rojo pred se tiene una reflectancia de 580 - 680 nm y la longitud de onda individual de 630 nm (Johnson *et al.*, 2008).

Rudoff (2010, 2004 y 1985), en principio, planteó que si el NDVI es empleado en conjunto con imágenes Landsat y/o SPOT con datos agro meteorológicos, resulta una técnica útil para estimar la productividad de cultivos; por su parte, Pontes *et al.* (2005), demostraron que existe correlación entre el índice NDVI y la productividad del cultivo de caña de azúcar; es decir, el índice NDVI tiene el potencial para la diferenciación productiva del cultivo de caña de azúcar. Por su parte, Lucas (2007) y Fortes (2003), mencionaron que el NDVI es un método sensible que normaliza los efectos de la topografía y puede ser utilizado para diagnosticar parámetros biofísicos con un alto grado de correlación y confiabilidad como indicador del área foliar, biomasa, cobertura vegetal del suelo, actividad fotosintética, productividad y modelado de la fenología. Ji-hua y Bing-fang (2008), Machado (2007), Frasson (2007), Krishna Rao (2002), Simões Dos Santos (2005) y Meyer (1997), concluyeron que es una medida cuantitativa del vigor (variaciones de biomasa) del

cultivo, lo cual denota la estimación de la biomasa total y el estatus de salud de la plantación y se relaciona directamente con el rendimiento de campo.

De acuerdo con la información generada por la aplicación del índice NDVI en imágenes Landsat, presente en la literatura, y a partir de la hipótesis de que “es posible establecer una relación entre las características espectrales de la caña de azúcar y su estado de vigor vegetal en una determinada etapa del cultivo”, se realizó un análisis espacial en la Huasteca Potosina, para diferenciar, estimar, mapear y zonificar el cultivo de caña de azúcar mediante el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) en la fecha de colecta de la imagen.

Para el cálculo del NDVI, fue empleado el *software* ILWIS 3.3 (Integrated Land and Water Information System, ITC, ILWIS System), con el cual se trabajó el área correspondiente a la superficie cosechada de caña de azúcar de la zafra 2004/2005 (75,328.83 ha) y a la superficie total sembrada de caña de azúcar (89,158 ha); previo trabajo de identificación en imágenes Landsat 7 ETM+, y después, en forma de máscara del respectivo NDVI, para la caña de azúcar para cada grupo de píxeles; datos que fueron almacenados en una hoja de cálculo para su análisis. En primera instancia, se diferenciaron cuatro niveles de productividad, *Alta, Media, Baja y Muy Baja*, para coincidir con la clasificación adoptada para las zonas cañero-azucareras a fin de obtener la capa temática de caña de azúcar por niveles de producción y rendimientos cañeros potenciales (Narciso, 1999 y Soria *et al.*, 1998).

Con las diferentes características espectrales de las zonas productoras de caña de azúcar, se procedió a la delimitación del perfil del índice de vegetación NDVI que estableció a priori, de acuerdo con su valor, la separación de los cañaverales y la distribución espacial correspondiente por superficie y niveles de productividad según la escala de Rahman (2004) (Figuras 2.52 al 2.54 y Cuadro 2.26).

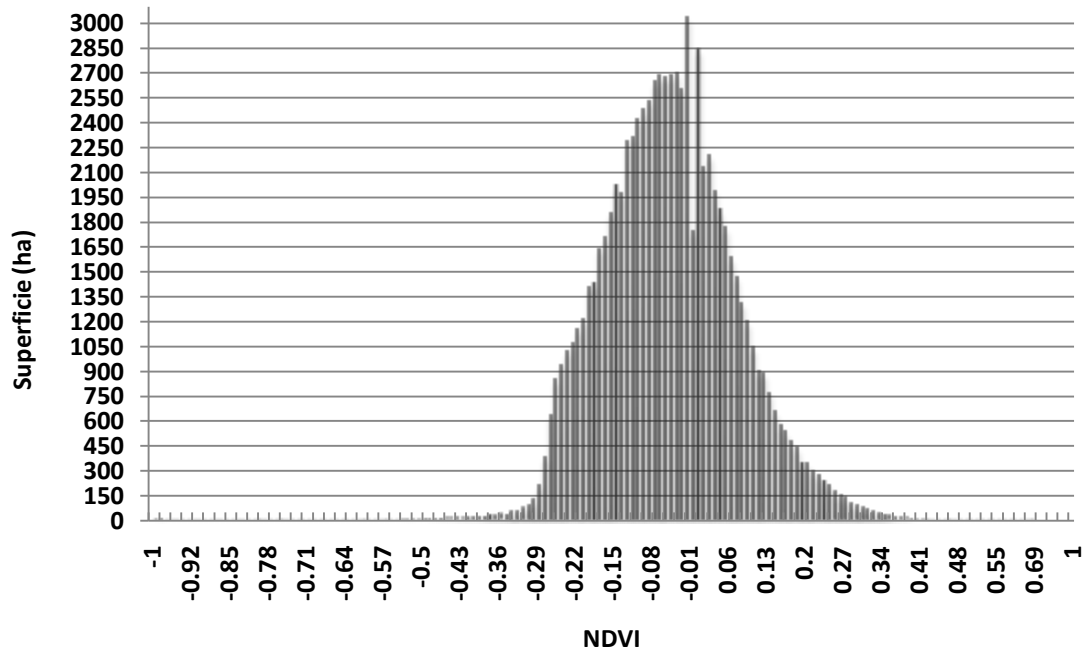


Figura 2.52. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) en la zona productora de caña de azúcar en la Huasteca Potosina (Valor mínimo -0.98, valor máximo 0.69, desviación estándar 0.12, media -0.04 y mediana -0.05)

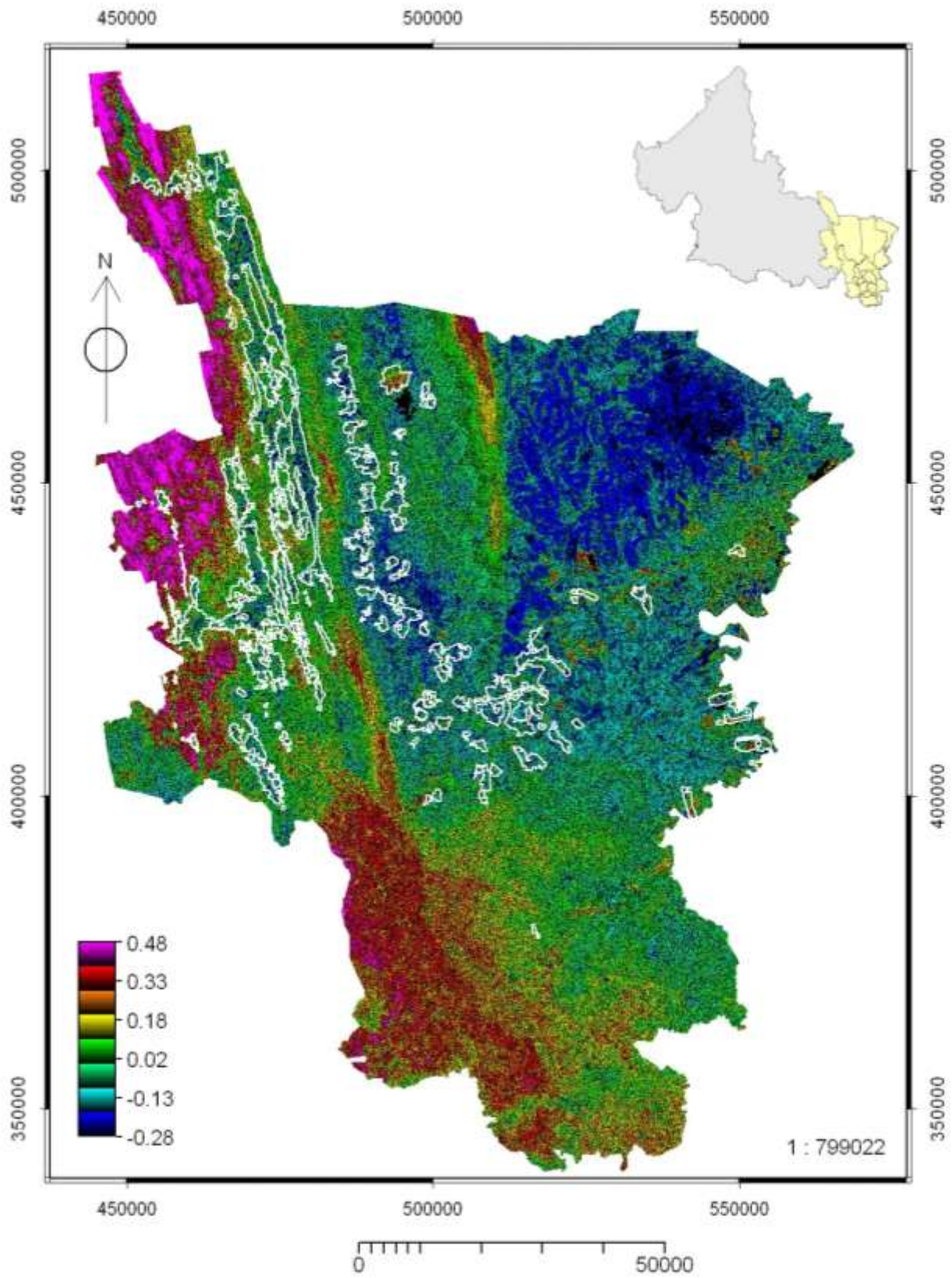


Figura 2.53. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) en la Huasteca Potosina.

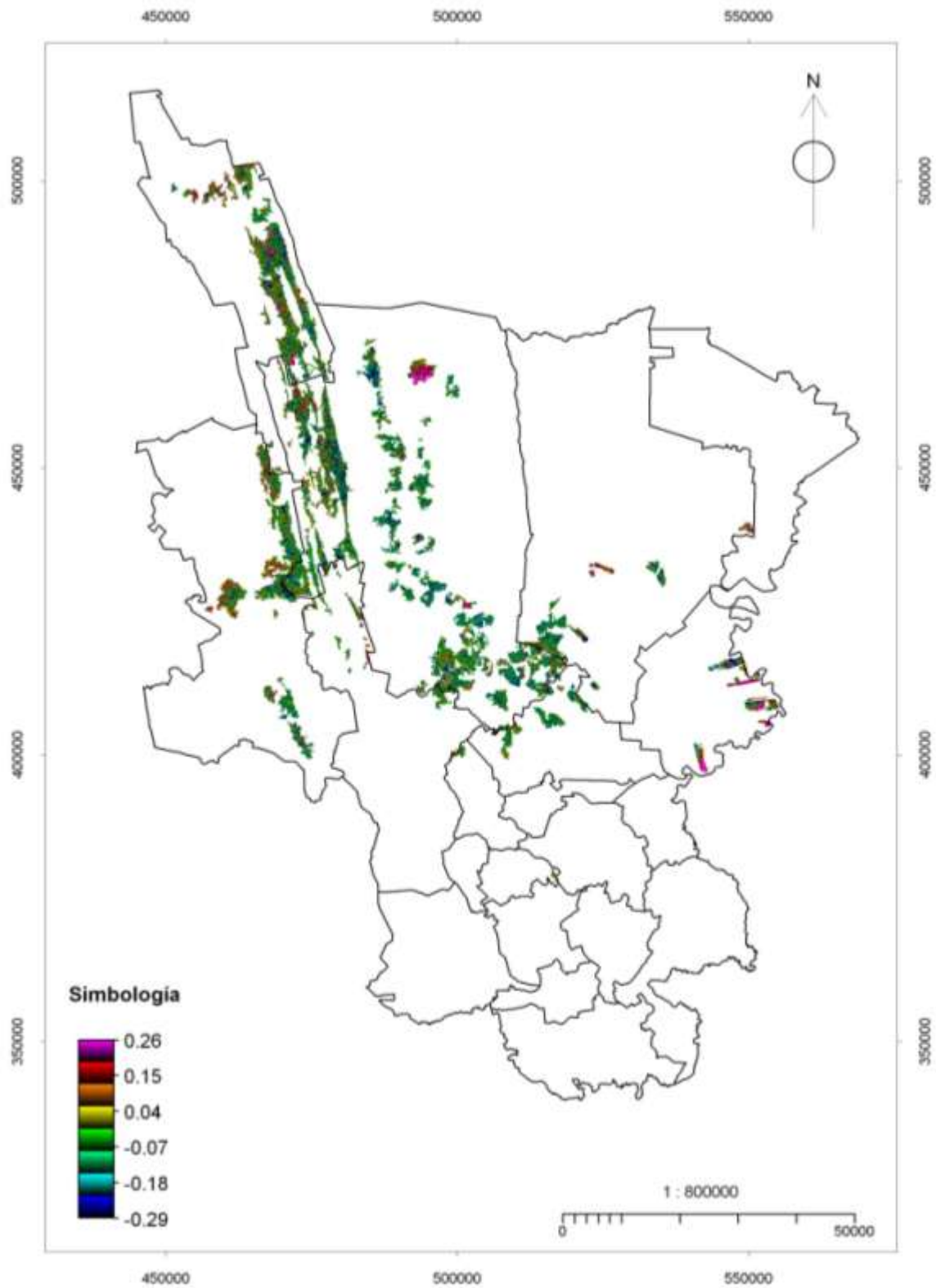


Figura 2.54. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) en la zona productora de caña de azúcar en la Huasteca Potosina.

Cuadro 2.26. Condiciones de los predios de caña de azúcar en la Huasteca Potosina.

Productividad	Caña Cosechada (ha)	% Total	Superficie total (ha)
Alta (Mayor que 70 t/ha)	6,014.07	7.98	6,847.34
Media (70 a 60 t/ha)	22,838.35	30.32	27,032.70
Baja (60 a 50 t/ha)	33,264.72	44.16	39,372.18
Muy Baja (Menor que 50 t/ha)	13,211.69	17.54	15,630.31
Total Cosechado	75,328.83	100.00	89,158 ha

Conforme lo que se puede apreciar en el mapa temático correspondiente, los rendimientos potenciales, como indicativo de productividad, presentaron una distribución espacial semejante. En la zona norte, donde se localizan los ingenios San Miguel El Naranjo y Plan de San Luis (Municipios de El Naranjo y Ciudad Valles, respectivamente), predominan los cañaverales con nivel de productividad alto y medio. Hacia el este, centro y sur en la zona de abasto de los Ingenios Plan de Ayala y Alianza Popular (municipios de Tamasopo, Tamuín, Aquismón, San Vicente y Tanlajás) prevalecen zonas con productividad de media a muy baja.

Sin embargo, la superficie con “productividad alta”, correspondiente al nivel máximo de vigor vegetal de la zona de estudio, presentó un valor de NDVI entre 0.2 y 0.3, considerado de pobre a moderado por Rahman *et al.* (2010, 2004, 2002); este valor que, según Chuvieco (2002), se puede considerar como umbral crítico para cubiertas vegetales, varía entre 0,1 y 0,5 para vegetación densa; por su parte Soria *et al.* (1998) indican que el NDVI está acotado entre ± 1 , con un umbral crítico para cubiertas vegetales como cañaverales en torno a 0.2, y cuando se obtienen valores menores que 0, implica que la reflectancia del rojo es mayor que la del infrarrojo cercano; es decir, disminuye drásticamente cuando la disponibilidad de agua decrece, ya sea espacialmente, debido a la variabilidad climática geográfica, o temporalmente, debido a la sequía (Amaral *et al.*, 2007). Esto es semejante a lo reportado por autores como Knop, (2007) y Rahman *et al.* (2010, 2004, 2002), quienes para un dosel verde y totalmente desarrollado de caña de azúcar registran datos de NDVI entre 0.7 y 0.8. Estos valores, según Begue (2008); Johnson (2008); Kridsakron (2008); Almeida *et al.* (2006); Broge (2002); Daughtry *et al.* (2000) y Meyer (1997), deben permanecer estables o disminuir ligeramente durante la etapa de maduración y sazonado de diversos cultivos perennes o anuales, cuando una declinación en el nivel de clorofila de las hojas genera un cambio en la arquitectura del dosel hasta el final de la cosecha.

Los valores de NDVI de la Huasteca Potosina, en la fecha de toma de la imagen (abril del 2005), correspondientes a la caña final (resocas N) para ser cosechada de forma tardía y entregada a los ingenios, según Almeida *et al.* (2006) pueden alcanzar un máximo alrededor de 0.25 a 0.33, debido a la senescencia de las hojas (valor equivalente a un campo cañero cubierto de residuos de cosecha, o bien, a un estatus de una plantación con presencia de malezas o plagas o deficiencias en el manejo); así, los valores bajos de NDVI de la Huasteca Potosina equivalen a un cultivo seco, de baja productividad y altamente estresado, con una reducción en la biomasa foliar y un incremento en la cantidad de paja (Galvão *et al.*, 2006); es decir, según Soria (2000) pueden presentar

variaciones que dependen de las características fisiológicas y morfológicas de las plantas, y del manejo de cada parcela, así como de la etapa fenológica de que se trate; esto se relaciona con lo reportado por Jiménez (2004), quien mencionó que el factor climático y la distribución de la precipitación pluvial, junto al factor edafológico y a las prácticas de manejo, limitan la productividad de la caña de azúcar y determinan zonas de alta, media o baja productividad, ya que térmicamente no es afectado el desarrollo del cultivo.

Por lo tanto, para la Huasteca Potosina, las variaciones en el rendimiento potencial del cultivo de caña, en relación con el NDVI, son consistentes con la dinámica vegetativa del cultivo, y muestran una tendencia de incremento de la producción a medida que los valores del índice son mayores y están correlacionados directamente con la mejoría en las condiciones edáficas e hídricas (Da Silva y Alexandre, 2005); esto tiene relación con Fauconnier (1975) quien estableció que a cada lugar corresponde un rendimiento máximo que es función de las condiciones climáticas del año. A la media de esas condiciones climáticas corresponde una media de rendimiento máximo, o rendimiento potencial específico; por lo tanto el NDVI, como herramienta de diagnóstico, debe acompañarse de datos climáticos y edafológicos en un mapa de celdas agroecológicas con características climáticas y edáficas definidas (Salgado 2010; Begue; 2008; Ueno *et al.*, 2005).

2.11. Identificación, mapeo y evaluación del cultivo de caña de azúcar en la Huasteca Potosina con imágenes SPOT HVR

Las imágenes del sensor SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) se han utilizado ampliamente en la identificación y clasificación de la vegetación en entornos de complejidad variable a gran escala, debido a su alta resolución (Cobbing, 2006) y a la hipótesis de que la variabilidad espacial observada en las reflectancias es mínima cuando el tamaño del píxel es suficientemente grande para ser considerado como representativo (estadísticamente) de la mezcla suelo-vegetación (Russell, 2009; Upadhyay, 2008; Vicini, 2007; Pasqualini *et al.*, 2005; Markham, 1981).

Asimismo, la precisión de una clasificación con fines productivos depende en gran medida de la resolución espacial de las imágenes que se utilizan, así como de la naturaleza del ambiente investigado. Esto se debe a que la resolución espacial puede determinar la generalización que puede ocurrir dentro y alrededor de una característica para clasificar la vegetación (rendimientos, productividad, fenología, etc.) y algunas características pueden ser muy detalladas en una escala, pero muy generales en otra (Ju *et al.*, 2005).

Markham (1981) determinó que la exactitud de una clasificación se rige por dos factores, a saber: la cantidad de píxeles que caen sobre el límite de las características a discriminar y la variación espectral de las clases. Sin embargo, la exactitud de los resultados de la clasificación no sólo depende de la resolución de la imagen sino también de la técnica de clasificación utilizada.

La resolución espacial de cada píxel en imágenes SPOT HRV es de 20 x 20 m y 10 x 10 m. El modo pancromático realiza la observación en una banda espectral única, correspondiente a la parte del visible del espectro electromagnético sin el azul, y el modo multibanda registra en tres bandas del visible e infrarrojo cercano (Cuadro 2.27)

Cuadro 2.27. Bandas espectrales en imágenes SPOT. ElHajj *et al.* (2008)

Bandas	Tamaño del píxel (m)	Rango espectral (nm)
Banda 1: (verde)	10	500 – 590
Banda 2: (rojo)	10	610 – 680
Banda 3: NIR (infrarrojo cercano)	10	780 – 890
Banda 4: (infrarojo medio MIR)	20	1580 – 1750
Pancromático	2.5-5.0	480-710

En relación con lo anterior, la alta resolución de imágenes SPOT HRV y el análisis de estas por NDVI y clasificación supervisada han sido la fuente principal de información para la identificación, mapeo y evaluación de cultivos de caña de azúcar mediante la reflectancia en las cuatro bandas espectrales, verde, rojo, IR e IRC, extraídas de las imágenes para cada sitio de estudio (El Hajj, 2009; Abdel-Rahman, 2008; Upadhyay 2008; Yang, 2008, Bongiovanni, 2008; Lu et al. 2007; Kuang Ning et al. (2006); Lau Quan, 2005; Begue, 2004; Gers & Schmidt, 2001; Sirvastva 1999; Wiegand, 1996). Esta información ha sido complementada con datos edafológicos y climáticos (Rudoff, 2010 y 2004).

los datos de SPOT 5 HRV podrían ser más adecuados en áreas donde los lotes son pequeños debido a su resolución espacial (10 m), pero su baja frecuencia temporal y la posibilidad de cobertura nubosa durante sus pasadas poco frecuentes, limitan la obtención de parámetros biofísicos del cultivo, los cuales cambian durante la estación de crecimiento (Doraiswamy *et al.*, 2004).

El objetivo de este estudio fue evaluar y clasificar las características espectrales del cultivo de caña en la Huasteca Potosina por el método de NDVI y clasificación supervisada de máxima probabilidad (maximum likelihood) mediante imágenes SPOT 5 HRV y, al incorporar variables edafológicas y climáticas, zonificar la superficie cañera por niveles de aptitud y productividad.

A partir de la resolución espacial del SPOT 5 HRV (10m) y mediante el uso de límites de los polígonos cañeros, previamente identificados en imágenes Landsat 7 ETM+, se generó un mosaico de 10 imágenes. Estas fueron proporcionadas por el Laboratorio Nacional de Geoprocamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF), presentan resolución espacial de 10 y 20 m, tamaño 60x60 Km (3,600 Km²), y resolución radiométrica 256 ND, corresponden a junio de 2008 y cubren el 100 % del área cañera de la Huasteca Potosina (Figura 2.55).

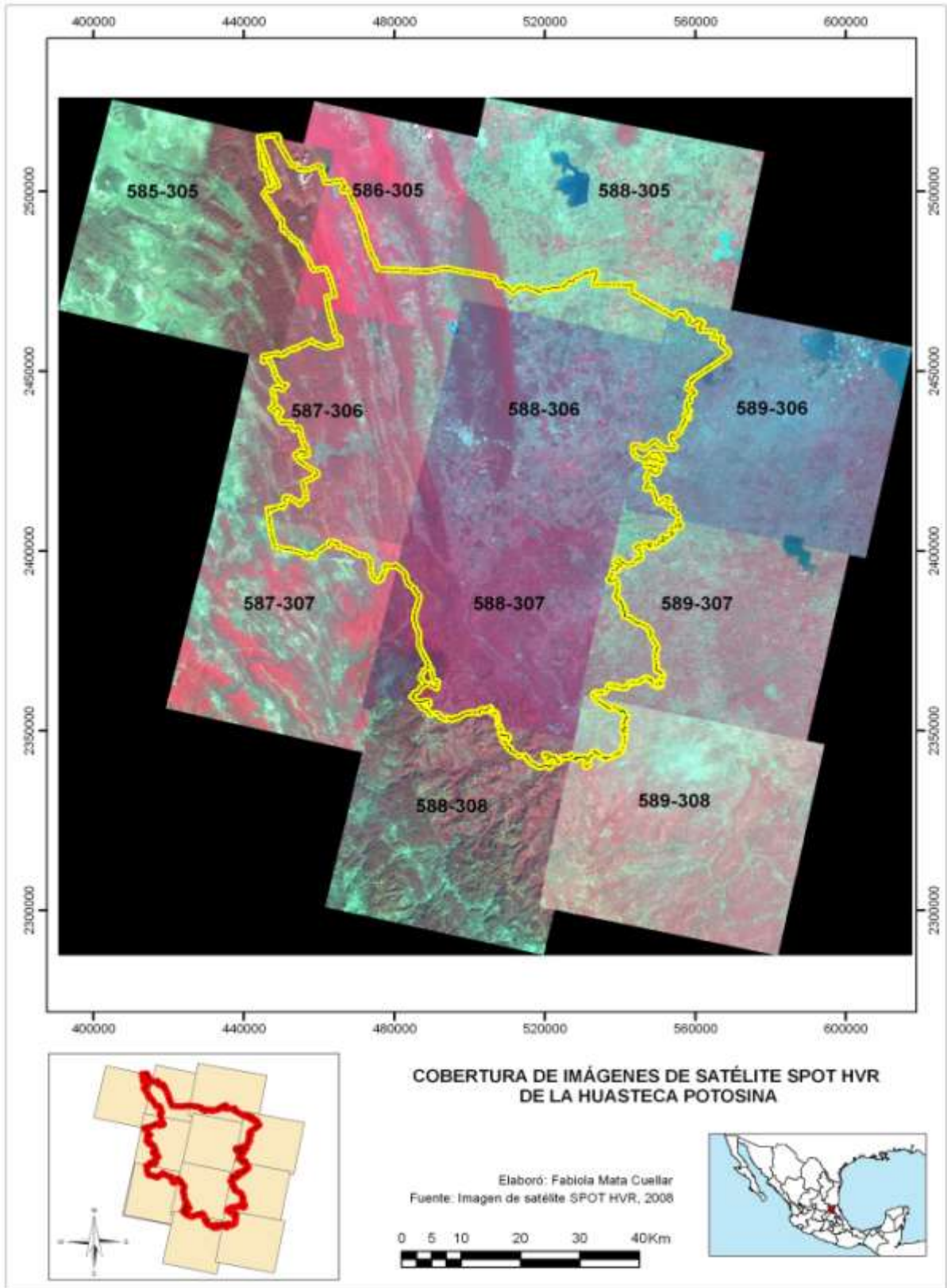


Figura 2.55. Imágenes SPOT5 de la zona cañera de la Huasteca Potosina
251

Para SPOT 5, la literatura reporta que la reflectancia en la banda 4 alrededor de 750 nm, correlaciona positiva y significativamente con el número de tallos por hectárea y la edad del cultivo, y mostró una correlación positiva y significativa entre la banda B4 y el vigor de la hoja verde, así como con el número de tallos por hectárea (Schmidt, 2000). Upadhyay (2008); Kuang Ning *et al.* (2006); Gers (2001); Sirvasta *et al.* (1999) y Krinsha *et al.* (1999) afirmaron que, en imágenes SPOT, la caña de azúcar puede ser detectada alrededor de 120 días después de la siembra o cosecha y el grado de detección con el crecimiento activo del cultivo

En primera instancia se sobrepuso el polígono cañero al mosaico de imágenes para determinar la expansión de la superficie cañera derivada de la fecha inicial de identificación (abril del 2005) a la fecha de captura de las imágenes SPOT 5 (Junio 2008) (Figura 2.56)

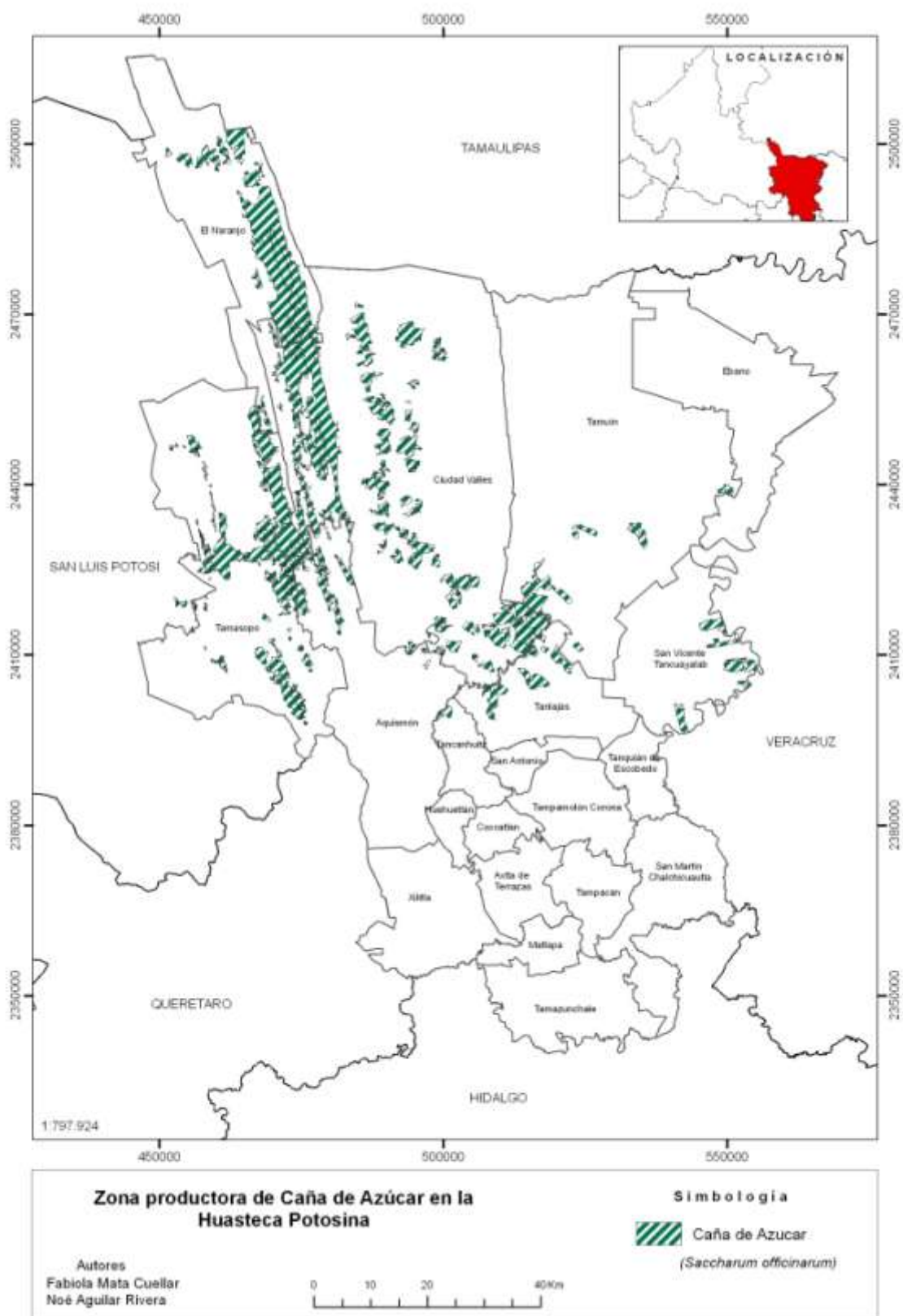


Figura 2.56. Zona productora de caña de azúcar de la Huasteca Potosina

El mapa resultante muestra la ubicación territorial y superficie ocupada por el cultivo, disponible para la zafra 2008/2009; la información registrada en el Manual Azucarero Mexicano 2010 no reporta variación por arriba del 0.93 % en la superficie cosechada de las zafras 2005 al 2009, correspondiente a la fecha de captura de las imágenes SPOT HRV. Sin embargo puede establecerse que si bien la superficie cañera no se incrementado significativamente, tampoco lo ha hecho su productividad (Figura 2.57)

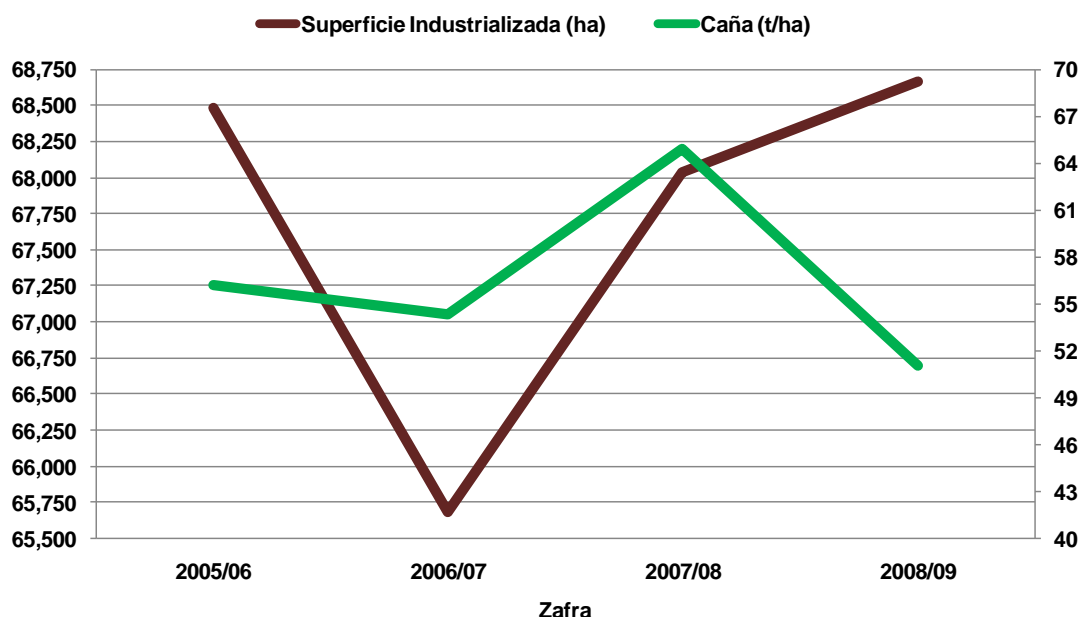


Figura 2.57. Superficie industrializada y rendimiento de campo en la Huasteca Potosina

Para el análisis *a priori* del vigor vegetal de la zona cañera se empleó el algoritmo NDVI, el cual refleja el estado, la densidad de la vegetación y la actividad fotosintética. Este algoritmo está correlacionado con la biomasa y con la evapotranspiración, y consiste en combinaciones de bandas espectrales, cuya función es realzar la contribución de la vegetación en función de la respuesta espectral de una superficie, y atenuar la de otros factores como suelo, iluminación, atmósfera, etc.; Simões *et al.* (2005) demostraron la alta correlación que existe entre producción y biomasa con el NDVI obtenido de sensores de alta resolución como *Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) y SPOT, la cual alcanzó valores mayores a 83 %. Se calcula por el promedio de la intensidad medida en las bandas espectrales de SPOT HRV en el rojo (R) (Banda 2 ρ_2) (610 – 680 nm) e infrarrojo cercano (NIR) (Banda 3 ρ_3) (780 – 890 nm) (El Hajj *et al.* 2008) usando la fórmula de Rouse *et al.* (1973; 1974) y la escala de Rahman (2004).

Con la direrenciacion del valor de NDVI se identificaron cuatro niveles de productividad de los predios de caña (alto, medio, bajo y muy bajo) de acuerdo con Narciso (1999) y Soria *et al.* (1998), los cuales cubren un área de 89,158 ha. (Figura 2.58 y Cuadro 2.28)

Cuadro 2.28. Niveles de productividad de los predios de caña

Productividad	Superficie total (ha)
Alta (Mayor a 70 t/ha)	7,758.04
Media (70 a 60 t/ha)	37,274.7
Baja (60 a 50 t/ha)	36,054.44
Muy Baja (Menor a 50 t/ha)	8,056.9
Total Huasteca	89,144.08

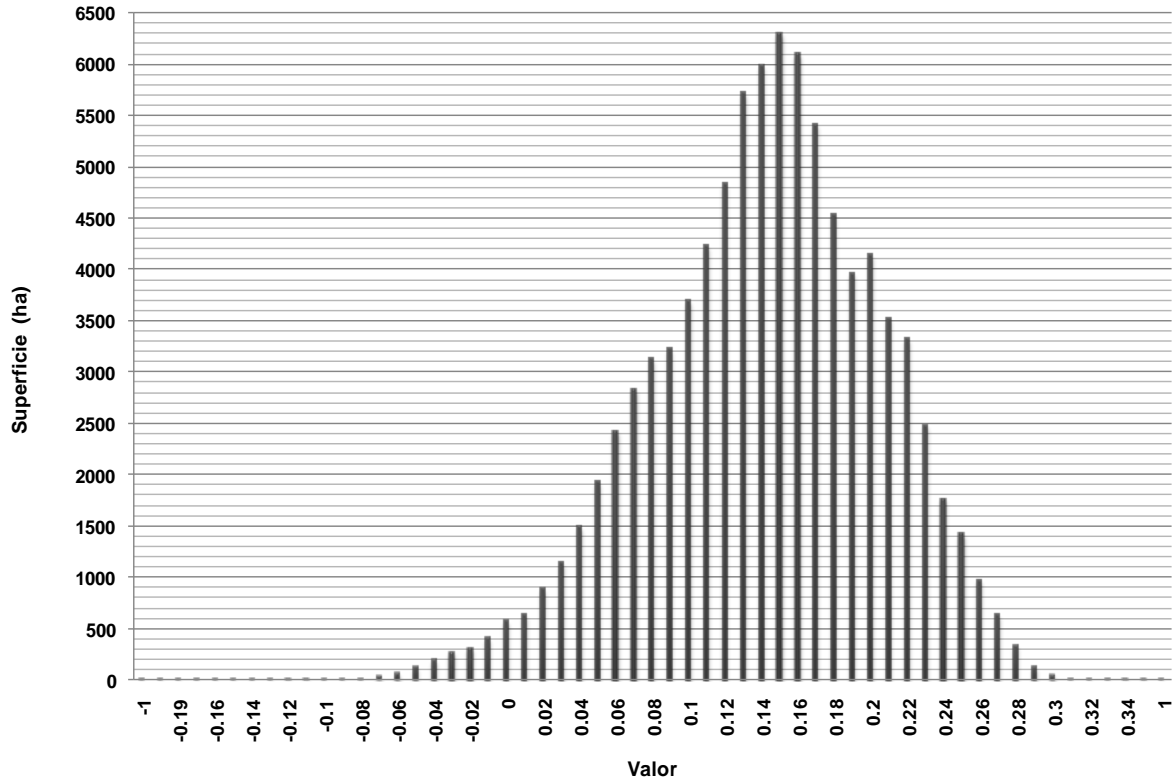


Figura 2.58. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) en la zona productora de caña de azúcar en la Huasteca Potosina (Valor mínimo -1.0, valor máximo 1.0, desviación estándar 0.06, media 0.14 y mediana 0.14)

Estos resultados manifiestan que del total de la superficie plantada, el 9.04 % corresponde a cañaverales de muy bajo nivel de producción (ubicados en su mayoría en la zona del ingenio Plan de Ayala), el 40.45 % a los bajo nivel de producción (en Plan de Ayala y Alianza Popular), 41.82 % a rendimiento intermedio y el 8.7 % restante a los de alta producción (Plan de San Luis y San Miguel El Naranjo) (Figura 2.59). Del total, sólo restaron 13.92 ha sin catalogar debido a la falta de identificación en predios con bajos rendimientos culturales, en los cuales la distribución y desarrollo irregulares del cañaveral, en muchos casos puede estar acompañado de crecimiento de arvenses nocivas (malezas)

y producir enmascaramiento en las respuestas espectrales, con una consecuente ausencia de clasificación (Soria, 2002).

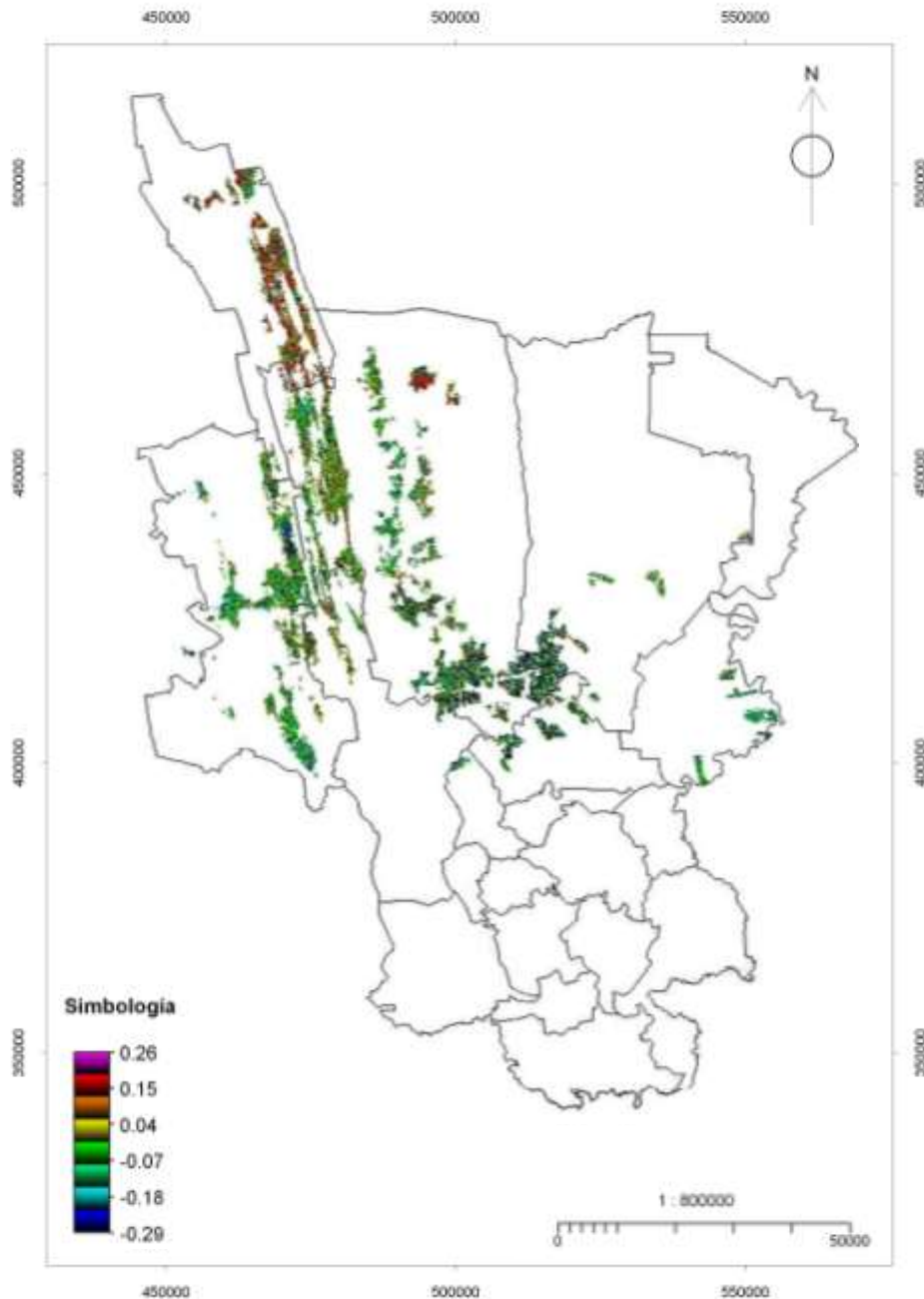


Figura 59. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) en la zona productora de caña de azúcar en la Huasteca Potosina.

2.12. Firmas espectrales y clasificación supervisada

Las firmas espectrales pueden caracterizar un cultivo de acuerdo principalmente, a sus propiedades ópticas y condiciones de manejo; y dependen de tres factores: estructura

geométrica, química foliar y parámetros agronómicos (Narciso *et al.*, 1999). Es decir, las firmas espectrales de nivel de los sensores remotos permiten obtener información del estado fisiológico de una planta en tiempo real, asociándolo con la concentración de nitrógeno, y contenido de clorofila, área foliar y biomasa. La cuantificación competitiva de estas variables es útil para una agricultura de precisión (AP), que optimice la participación con los productos agrícolas en futuros mercados. Los sensores remotos ópticos proveen información en tiempo real, específico y crítico, debido su capacidad para medir indicadores biofísicos y detectar su variabilidad espacial (Brizuela, 2007).

En este contexto, los mapas temáticos generados a partir de imágenes de satélite proporcionan información actualizada. Sin embargo, durante el proceso se introducen algunos errores dejando píxeles aislados o grupos de píxeles que deben ser correctamente reclasificados; Rudorff *et al.* (2004) constaron que estas áreas pueden ser extraídas por una técnica de clasificación, basada en la firma espectral del cultivo, que es capaz de generar un resultado sin error al partir de un cierto conocimiento de la zona a clasificar, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo. El propósito es, entonces, seleccionar píxeles que cuenten con ciclos vegetativos que indiquen la presencia de caña de azúcar y localizar zonas representativas de cada tipo de cubierta que puedan ser identificadas en la imagen; es decir, plantas individuales con propiedades espectrales similares y geometría asociada a una escala de un píxel, estadísticamente similares (Zarco *et al.*, 2008). Esto permite delimitar áreas representativas de las categorías analizadas (sitios de entrenamiento), en la etapa de interpretación y para la verificación posterior de los resultados (Chuvieco, 1996).

La clasificación digital de la imagen permite reducir la variable continua o los niveles digitales (ND) a una sola categoría y evitar errores (Pathirana, 1999). Los ND (Niveles digitales) son la traducción digital de un flujo energético recibido por un sensor para una determinada banda del espectro; es decir, valores que representan la intensidad de la respuesta espectral de un píxel, de acuerdo con la capacidad de almacenamiento de la imagen (bits). La clasificación de imágenes se puede catalogar en supervisada y no supervisada. La clasificación supervisada parte de un conjunto de clases conocido *a priori*. Estas clases deben caracterizarse en función del conjunto de variables mediante la medición de las mismas en individuos cuya pertenencia a una de las clases no presente dudas (Lu Weng, 2007)

El clasificador que separa mejor la agricultura es el de Máxima Probabilidad (Maximum Likelihood MXL) con probabilidades a priori. Este clasificador es el más complejo y, por lo tanto, el que mayor volumen de cálculo requiere, ya que se ajusta fielmente a la distribución original de los datos (Chuvieco, 1996). El clasificador es el algoritmo más comúnmente utilizado en percepción remota, ya que es sencillo de aplicar, así como para interpretar los resultados que arroja, por ello se considera uno de los procedimientos de discriminación más robustos, acertados y eficientes (Maselli *et al.*, 1992). El clasificador evalúa la probabilidad de que un píxel pertenezca a una de las categorías consideradas y lo clasifica en la categoría con mayor probabilidad de pertenencia; este algoritmo asume que esas probabilidades son iguales para todas las clases y que los datos tienen una distribución normal. Evalúa la probabilidad de pertenencia de cada píxel a cada una de las clases y asigna aquella que obtiene un valor máximo de la conversión de los niveles

digitales de la imagen original a una variable física con un significado estándar (García Mora, 2008).

Bajo el enfoque unitemporal o de observación en fecha única basado en una clasificación de Máxima Probabilidad (Maximum Likelihood MXL); esta técnica ha sido empleada para clasificar predios con caña de azúcar por Vikesh *et al.* (2010); Yang *et al.* (2008); Kuang Ning *et al.* (2006); Bappel (2005); Apan (2004); Soria (2007, 2002); Dadhwal (2002); Gers-Schmidt (2001) y Pathirana (1999) con imágenes *Thematic Mapper* (TM) y SPOT debido a que es el método de clasificación que asegura la menor transformación de los ND originales para obtener una nueva imagen. Sin embargo, para la selección de los campos de entrenamiento es necesario tener el conocimiento previo de las características de la zona cañera de estudio bajo los siguientes requisitos:

1. Análisis digital previo de imágenes para individualizar las posibles diferencias de comportamiento de los cultivos de caña en el área total (polígono cañero).
2. El número de campos de entrenamiento debe proporcionar una muestra representativa de la productividad de cada región agrícola y asignar píxeles a un conjunto de clases en función de sus valores de ND.
3. Clasificar la imagen entera (polígono cañero) mediante la comparación entre la firma de cada uno de los píxeles con cada una de las curvas de respuesta espectral conocidas, con la consecuente asignación de ese píxel al tipo de cubierta que tiene una firma espectral similar.
4. El tamaño de las áreas cultivadas debe permitir su fácil identificación en las imágenes.
5. Elaboración de mapas temáticos, mediante la discriminación de las superficies ocupadas por nivel productivo del cultivo *píxel-a-píxel*.

Aunque la extracción de la firma espectral del presente estudio, se hizo durante la fase de crecimiento de caña de azúcar y se caracteriza por la cubierta vegetal uniforme, los modelos desarrollados para este estudio deberían ser considerados sólo válidos para las imágenes utilizadas en este trabajo. Bappel *et al.* (2005) establecen que es posible alcanzar una precisión en la clasificación cercana al 100 % a partir de una identificación en imágenes SPOT 5 y la realización de extenso trabajo de campo.

En el software ILWIS 3.3 se creó un mosaico de imágenes de la zona cañera (*sample set*), y las firmas espectrales se determinaron de acuerdo con las clases de productividad previamente establecidas (alto, medio, bajo y muy bajo). En este sentido, se realizaron pruebas de compuestos en color con las escenas y con cada una de las bandas disponibles, y se seleccionaron aquéllas en las que se obtuvo un mejor reconocimiento del estado de vigor vegetal de la zona cañera. Se seleccionó la composición en falso color Infrarrojo cercano, rojo y verde (321), tal y como fue sugerido por De Bie *et al.* (2008); Gonçalves (2008); Abdel-Rahman (2008); Jensen *et al.* (2006) y Gers (2001) para discriminar niveles de productividad.

La extracción de firmas espectrales se realizó sobre los cultivos en el momento en que los mismos presentaban un desarrollo importante (cobertura vegetal uniforme) durante el mes de junio; es decir, cuando las plantas cosechadas en el primer tercio de la zafra (noviembre y diciembre) tenían hasta 210 días de desarrollo, las que corresponden al

segundo tercio (enero y febrero) tenían hasta 150 días y las correspondientes al último tercio tenían de 60 a 90 días (marzo y abril); todo esto corresponde al tiempo de análisis propuesto por FAO (2006).

Zarco-Hidalgo (2008) mencionó que para la etapa inicial del crecimiento de los cultivos (baja cobertura del suelo), la variabilidad (espacial) de las reflectancias es alta y representa los cambios en las propiedades ópticas (reflectancia) de los suelos, producto del cambio en la humedad o rugosidad (labranza) de los mismos. Cuando el cultivo cubre totalmente al suelo (desde el punto de vista óptico, es decir, dependiendo de la banda espectral utilizada), la variabilidad es mínima o nula, siendo entonces una parcela agrícola con un cultivo dado en la frontera de variabilidad espacial.

En caña de azúcar comercial, se estima que aproximadamente 150 días después de la siembra o rebrote se produce una acelerada elongación de los tallos, identificada como fase de crecimiento o período vegetativo (Doorenbos y Kassan, 1979), en la cual los tallos pueden crecer a una tasa de hasta 4 a 5 entrenudos por mes; esta fase culminaría a los 270 días

Maselli *et al.* (2000) concluyeron que el análisis de los cultivos de caña de azúcar debe realizarse en un dosel que se ha desarrollado completamente (más de 5 meses de edad), cuando predominan las hojas y es posible diferenciar todavía las líneas de plantación, para evitar los efectos de contraste del suelo; es decir, a los 30 días después de la cosecha, los valores en las bandas del verde (y sobre todo en el rojo), se incrementan sensiblemente por la gran influencia del suelo, a la vez que disminuye el valor del infrarrojo cercano, tendiendo a tomar la forma de la curva típica del suelo. Lucas (2007) estableció que al inicio del ciclo productivo (planta, soca o resoca) en el rango de 1 a 2 meses, no es posible distinguir las diferencias fenológicas claras con imágenes de alta resolución espacial o el uso de índices de vegetación como el NDVI.

La caña de 90 días deja pequeños espacios entre las plantas, por lo que la respuesta espectral es típica de la vegetación con alguna influencia del suelo, mientras que a la edad de 150 días, el follaje cubre casi completamente el dosel, con valor bajo en el verde, más bajo en el rojo, y alto en el infrarrojo cercano, con poca o ninguna influencia del suelo. Esto se relaciona con Everingham *et al.* (2005) quienes indicaron que la producción de la caña requiere ser estimada entre los meses 6 y 7 antes de la cosecha y es necesaria su actualización regularmente durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo.

Rudorff (1985), concluyó que el mejor momento de la adquisición de los datos Landsat y/o SPOT para el establecimiento de un modelo de productividad para la caña de azúcar, está cerca de 1-2 meses antes de la cosecha. Machado (2007) en su trabajo, señaló que las imágenes Landsat y/o SPOT más adecuadas deben ser adquiridas cuando el cultivo está en su máximo crecimiento vegetativo y antes de la cosecha; sin embargo, deben presentar un bajo nivel de nubosidad.

Por su parte De Aguiar (2009) y Lara *et al.* (2005) establecieron que, para caña de azúcar, se presentan grandes áreas donde se cosecha después de la quema; esto genera baja reflectancia en todas las bandas de imágenes Landsat o SPOT, tanto por la presencia de material carbonizado por la falta de paja, y por la estructura de la hoja resultante de la

combustión. En cambio, las zonas donde se efectúa la cosecha verde tienen alta reflectancia en la banda 4 (infrarrojo medio) debido a la presencia de acolchado vegetal compuesto principalmente de hojas secas. Para Krishna *et al.* (2001), en un ciclo de cultivo (enero a diciembre), el dosel alcanza el 20 % de cobertura en marzo, se extiende al 60 % en abril y a partir de mayo alcanza el 100 % lo cual y a partir de este momento (cinco meses después de la cosecha) se considera el período adecuado para la adquisición de imágenes para propósitos de evaluación y seguimiento, lo que se relaciona directamente con lo reportado previamente por FAO (2006) y Allen (2006)

Para Johnson *et al.* (2008), la sensibilidad de caña de azúcar es mayor en el rango de 370 - 420, entre 510 - 550 y 580 - 620 nm, (picos de la clorofila) debido a su alta actividad fotosintética y al ser la planta C4 que mayor eficiencia presenta, como fue discutido previamente por Waclawovsky (2010); Moore (2009); De Souza Rolim (2008) y Chávez (1999) quienes tipifican a la caña de azúcar como una planta de alta rusticidad, sobresaliente capacidad de adaptación, elevado potencial de producción y conversión de energía solar. Esto se relaciona directamente con las firmas espectrales y los parámetros ópticos que explican el comportamiento de la hoja ante la radiación obtenidas por diversos investigadores para caña de azúcar y otros cultivos presentes en la Huasteca Potosina (Figura 2.60 y Cuadros 2.29 al 2.32)

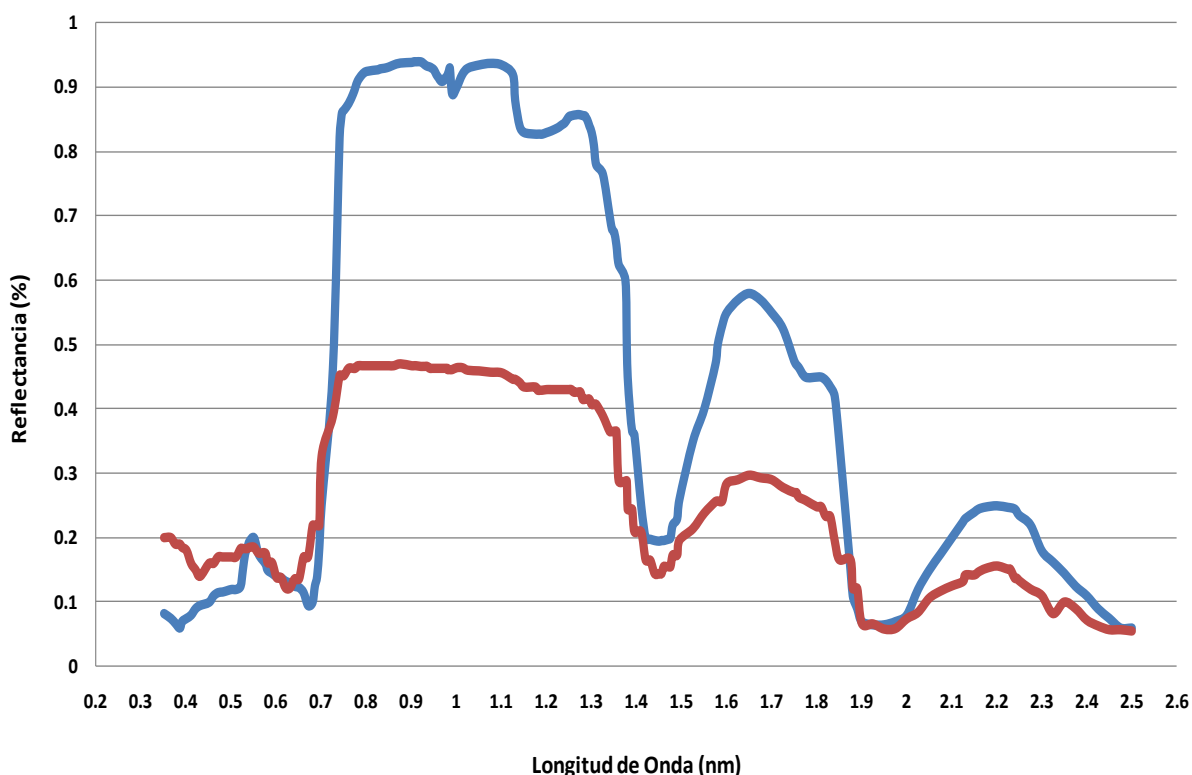


Figura 2.60. Firma espectral de caña de azúcar obtenida mediante estudios satelitales y sensores aerotransportados hiperespectrales (Johnson *et al.*, 2008; Galvão, 2005 y Bowke, 1985) (línea roja), y espectro radiómetros bajo condiciones de laboratorio (Auynirundronkool *et al.*, 2008) (línea azul).

Cuadro 2.29. Propiedades físicas de hojas de cultivos (Cordon, 2007).

Nombre Común	Nombre científico	Espesor de hoja (mm)	Contenido de Agua (%)
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i> L.	0.248	72.4
Maíz	<i>Zea mays</i> L.	0.200	74.8
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	0.274	74.9
Soya	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	0.140	81.4

Cuadro 2.30. Reflectancia infinita (R^∞) (Gausman, 1973)

Cultivo	Longitud de onda (nm)*							
	550	650	850	1450	1650	1950	2200	Media
Caña de azúcar	19.0	11.5	69.8	14.9	36.5	6.3	17.6	25.1
Maíz	16.4	9.3	77.5	17.6	41.9	7.2	21.9	27.4
Sorgo	17.4	11.3	77.3	27.1	50.8	12.3	30.2	32.3
Soya	13.5	7.9	80.3	24.0	51.0	8.3	29.5	30.6

Cuadro 2.31. Coeficiente de absorción (k) (Gausman, 1973)

Cultivo	Longitud de onda (nm)*							
	550	650	850	1450	1650	1950	2200	Media
Caña de azúcar	1.423	2.553	0.064	1.286	0.390	2.862	0.953	1.362
Maíz	1.682	4.658	0.030	1.097	0.286	2.625	0.742	1.589
Sorgo	1.697	3.139	0.033	0.690	0.184	1.649	0.493	1.12
Soya	1.408	2.483	0.023	0.749	0.179	1.875	0.500	1.031

Cuadro 2.32. Coeficiente de dispersión de las hojas (s) (Gausman, 1973)

Cultivo	Longitud de onda (nm)*							
	550	650	850	1450	1650	1950	2200	Media
Caña de azúcar	0.818	0.749	0.968	0.528	0.706	0.408	0.492	0.667
Maíz	0.788	1.051	0.900	0.564	0.708	0.437	0.529	0.711
Sorgo	0.860	0.898	0.943	0.699	0.768	0.523	0.610	0.757
Soya	0.508	0.467	0.894	0.607	0.739	0.360	0.597	0.593

*550 nm (pico de reflectancia verde), 650 nm (banda de absorción de clorofila), 850 nm (meseta de reflectancia en el infrarrojo, 1450 nm (banda de absorción de agua), 1650 nm (pico de reflectancia del agua y banda de absorción de agua a 1450 nm)), 1950 nm (banda de absorción de agua), y 2200 nm (pico de reflectancia del agua y banda de absorción de agua a 1950nm).

De los parámetros ópticos, la reflectancia infinita (R^∞ o IRC^∞) o de medio denso, es función de las propiedades ópticas de las hojas y de su distribución angular. Se construye mediante datos de reflectancia y transmitancia a nivel hoja. Su objetivo es simular, de una forma inicial, las medidas de reflectancia obtenidas por un sensor aerotrasportado o espacial sobre una cobertura o dosel denso y prácticamente cerrado a partir de medidas foliares individuales (Zarco et al., 2008). El coeficiente de absorción específico (k) del cultivo fue tratado por Ross (1981), quien menciona que, independientemente de la

longitud de onda, el tamaño y forma (espesor y tipo de hojas, ramas, tallitos, etc.) son elementos de dispersión de la radiación solar (Myneni *et al.*, 2002).

Cordon (2007) estableció que la estructura finamente dividida del mesófilo en hojas de soya, en comparación con la estructura gruesa y compacta de las hojas de maíz, caña de azúcar y sorgo, es sensible a longitudes de onda corta y, posteriormente, hay menor absorción y dispersión de luz. Así, los valores de espesor de hoja, bajo condiciones de humedad constante, correlacionan directamente con el coeficiente de absorción (k) y negativamente con el coeficiente de dispersión (s) y con la reflectancia infinita (R^∞).

Por lo tanto, las imágenes adquiridas, de acuerdo con la literatura, son adecuadas para el análisis espectral de la zona de estudio, al presentarse en la imagen como una masa densa vegetal conformada por tallos y hojas, de 1.5 a 3 m de altura; en ellas, los tallos presentan hojas verdes en la parte superior y hojas secas insertadas en las porciones media y basal; por otra parte, su aspecto y color todavía no se ven alterados por los efectos climáticos

La selección de lotes de control o campos de entrenamiento para identificar la firma espectral (curvas de respuesta espectral) de la caña de azúcar con diferentes niveles de productividad, se llevó a cabo conforme a la información de campo obtenida directamente en la zona de estudio: de los trabajos previos publicados (Galindo, 2006, Johnson *et al.* 2008, Galvão, 2005, y Bowke, 1985), de la comparación entre las firmas obtenidas y selección de firmas representativas de los distintos rangos de productividad reconocidos previamente mediante el análisis preliminar del NDVI en imágenes Landsat 7 ETM+ y SPOT 5 HVR de la zona cañera y de la interpretación digital y clasificación de las imágenes seleccionadas.

Para la selección de las firmas espectrales se dispuso de 6678 puntos o lotes de control distribuidos en el área cañera de acuerdo con los rangos de productividad preestablecidos y al criterio establecido por Chuvieco (1996): a mayor **ND**, mayor **reflectividad**; **es decir**, cuanto mayor sea el valor de ND mayor será la radiación que recibe el sensor derivada de la actividad del dosel (Cuadro 2.33 y Figuras 2.61 y 2.62)

Cuadro 2.33. Puntos o lotes de control por nivel de productividad

Nivel de Productividad	Puntos de control (No. píxeles)	ND
Alto	2072	>200
Medio	2116	150-200
Bajo	1537	100-150
Muy Bajo	953	<100

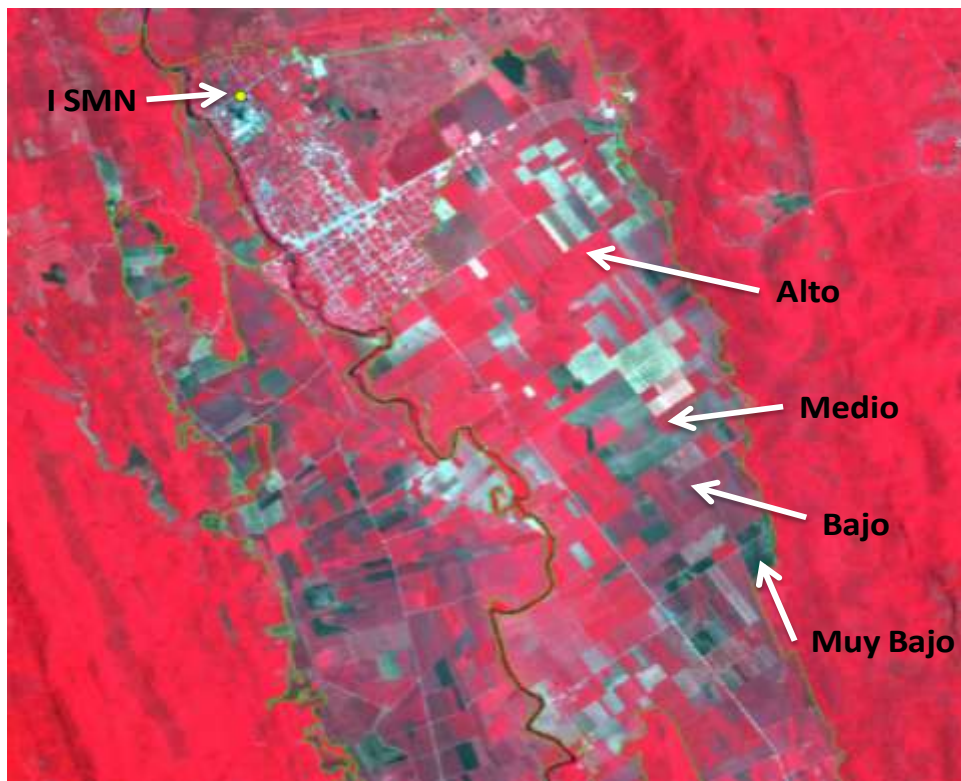


Figura 2.61. Clasificación de predios cañeros por nivel de productividad zona cañera del Ingenio San Miguel el Naranjo (Composición RGB 123)

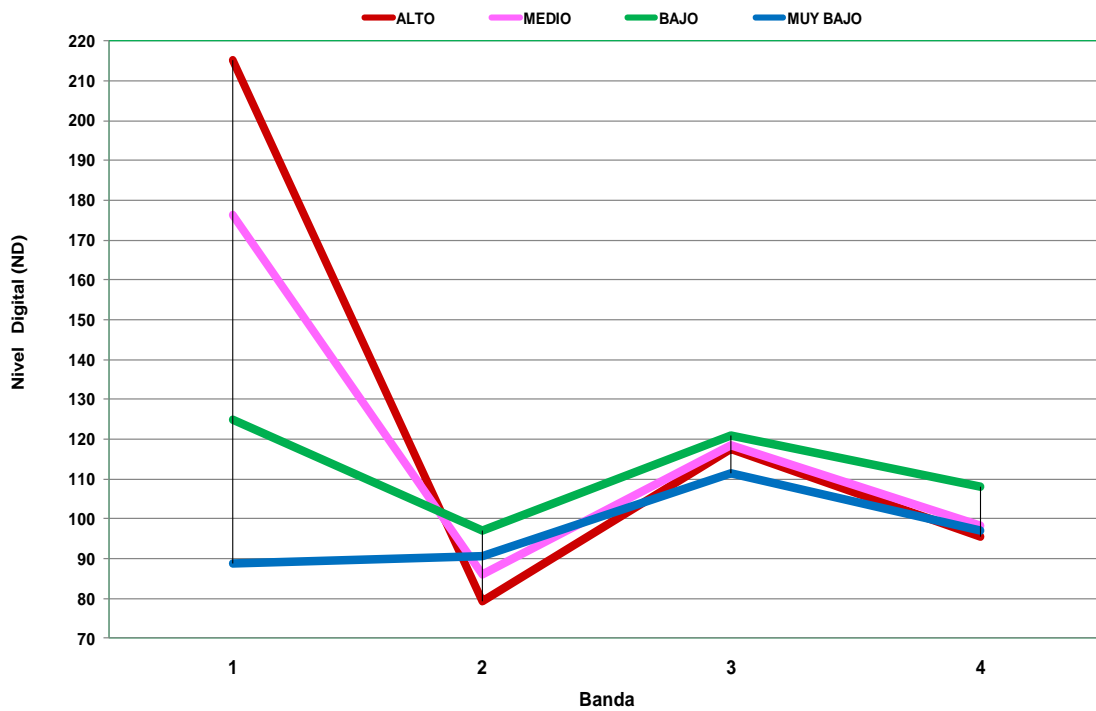


Figura 2.62. Firmas espectrales de los polígonos cañeros por nivel de productividad

La comparación de los niveles digitales (ND), obtenidos en las distintas bandas involucradas en las firmas espectrales, permitió establecer las diferencias más significativas, asimilables con los rangos de productividad preestablecidos y de acuerdo con Chuvieco (1996) sobre la *reflectividad de la parcela del terreno a la que corresponde un píxel; es decir, la categoría clasificada como ALTO, presenta las características de una vegetación vigorosa; muestra un máximo relativo (215.2 ND) en la porción verde del espectro (banda 1 de SPOT HVR 500 – 590 nm) y un mínimo (95.5 ND) en el infrarrojo medio este valor, coincide con el valor máximo para la categoría MUY BAJO*. Huang *et al.* (2005) indicaron que la máxima sensibilidad al contenido de clorofila en las hojas de caña de azúcar es 550 (Banda 1, pico de reflectancia verde) y 710 nm (por cambios estructurales de la clorofila y otros pigmentos), y que un aumento considerable en el infrarrojo a 760-900 nm y 1550-1750 nm, ocurre por déficit hídrico; en este, la estructura geométrica interna y las dimensiones de las hojas, por cambios en la orientación y disminución del área foliar y del dosel, constituyen el factor dominante principalmente en los cambios ocurridos en cloroplastos y vacuolas, de acuerdo con lo reportado por Machado *et al.* (2009); Almeida *et al.* (2008); Smith, (2005) y Lisson *et al.* (2005), y a lo que Upadhyay (2008) y Pellegrino (2001) mencionaron para caña de azúcar: la cantidad de hojas verdes disminuye y la paja u hojas secas se hacen visibles y empiezan a influir en el valor de reflectancia de la superficie y al incremento en el índice refractivo de la capa del mesófilo cuando el agua es reemplazada por aire y por los efectos indirectos de la sequía en la hoja, como la disminución del índice de área foliar o las sombras debidas al rizado de la hoja que corresponden a la señal adquirida en las bandas 2, 3 (NDVI) y 4.

Caso contrario a la categoría clasificada como MUY BAJO, la cual presenta una línea recta en el espectro, derivada de la baja actividad fotosintética y humedad, debido a que en el dominio del espectro del infrarrojo medio, cercano y lejano (700 a 1300 μm), la reflectividad de las hojas es controlada por su estructura celular derivada de los gradientes de humedad (Curran, 2005); esta categoría corresponde a hojas senescentes o a plantas sometidas a algún tipo de estrés (acame o tendedura, sequía, plagas, déficit de nutrimentos etc.) y las hojas huecas y secas de color amarillento resultantes modifican la arquitectura del dosel, eliminando el máximo relativo de la banda 1 (verde); y su mayor contenido de antocianidinas se manifiesta en la porción roja del espectro, banda 2 y por lo tanto indica productividad disminuida.

Estas bandas del espectro, de la imagen clasificada en niveles productivos, discriminaron la mayor parte de la información espectral en un rango de 39, 91 y 127 ND's, con valores mínimos de 88 y máximo de 215 ND's para la banda 1. En cambio, las bandas 3 y 4 del sector infrarrojo presentaron rangos de 111 a 121 ND's, y 95 a 107 respectivamente en sus valores mínimo y máximo, lo que establece la sensibilidad del sensor SPOT 5 HVR a la actividad fotosintética del dosel de caña de azúcar.

El cálculo de la superficie deviene como producto estadístico resultante de la clasificación; el programa de procesamiento incluye el recuento de las unidades de registro del sensor (píxel) clasificadas para cada categoría establecida (Figura 2.63 y Cuadro 2.34).

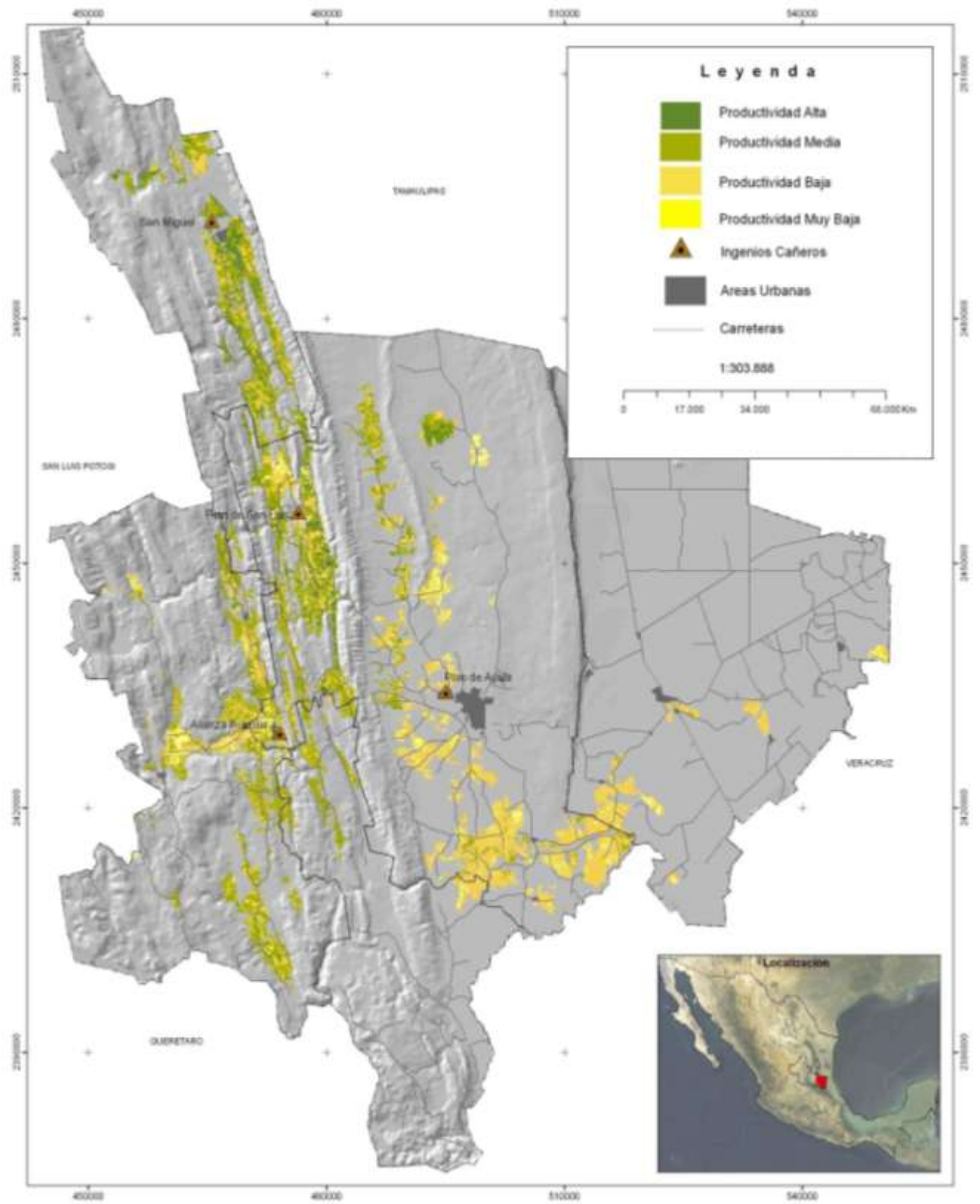


Figura 2.63. Distribución espacial de la zona cañera por nivel de productividad

Cuadro 2.34. Superficie cañera por nivel de productividad

Productividad	Superficie (ha)
Alta (mayor que 70 t/ha)	7,116.07
Media (70 a 60 t/ha)	36,368.10
Baja (60 a 50 t/ha)	36,297.63
Muy baja (menor que 50 t/ha)	9,376.84
Total Huasteca	89,158.64

Conforme lo que se puede apreciar en el mapa temático, los rendimientos de nivel alto e intermedio se concentran y dispersan en la carretera Cd. Valles-El Naranjo, Damián Carmona, Norte de Cd. Valles y Sur de Tamasopo, y en las áreas cañeras cercanas a los ingenios y los cuerpos de agua, los de rendimiento, bajo y muy bajo se agrupan alrededor de los anteriores, localizándose preponderantemente en Tamasopo y al oeste del municipio de Cd Valles, y en Tanlajás, Aquismón, Tancanhuitz, Tamuín y San Vicente. Se puede observar que las clases suman el 100 % del área cañera identificada.

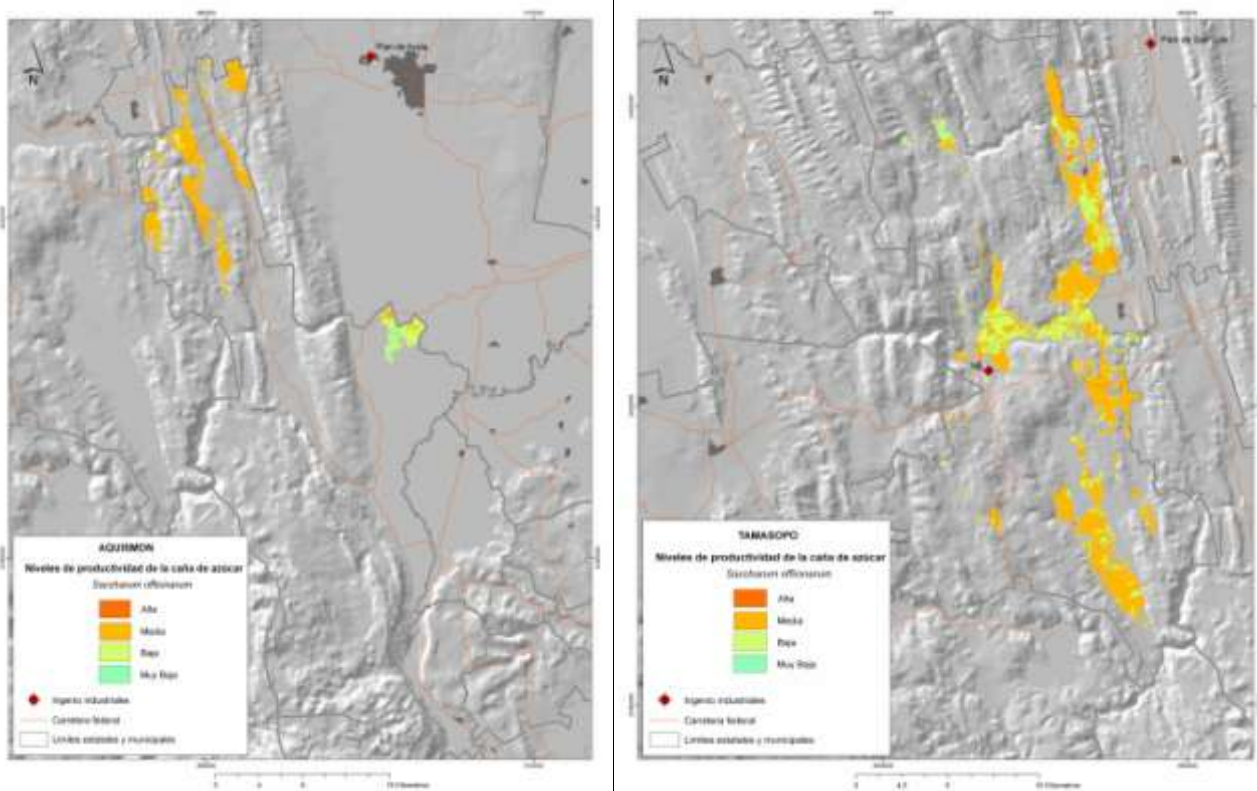


Figura 2.64. Distribución espacial de la zona cañera por nivel de productividad (Aquismón y Tamasopo)

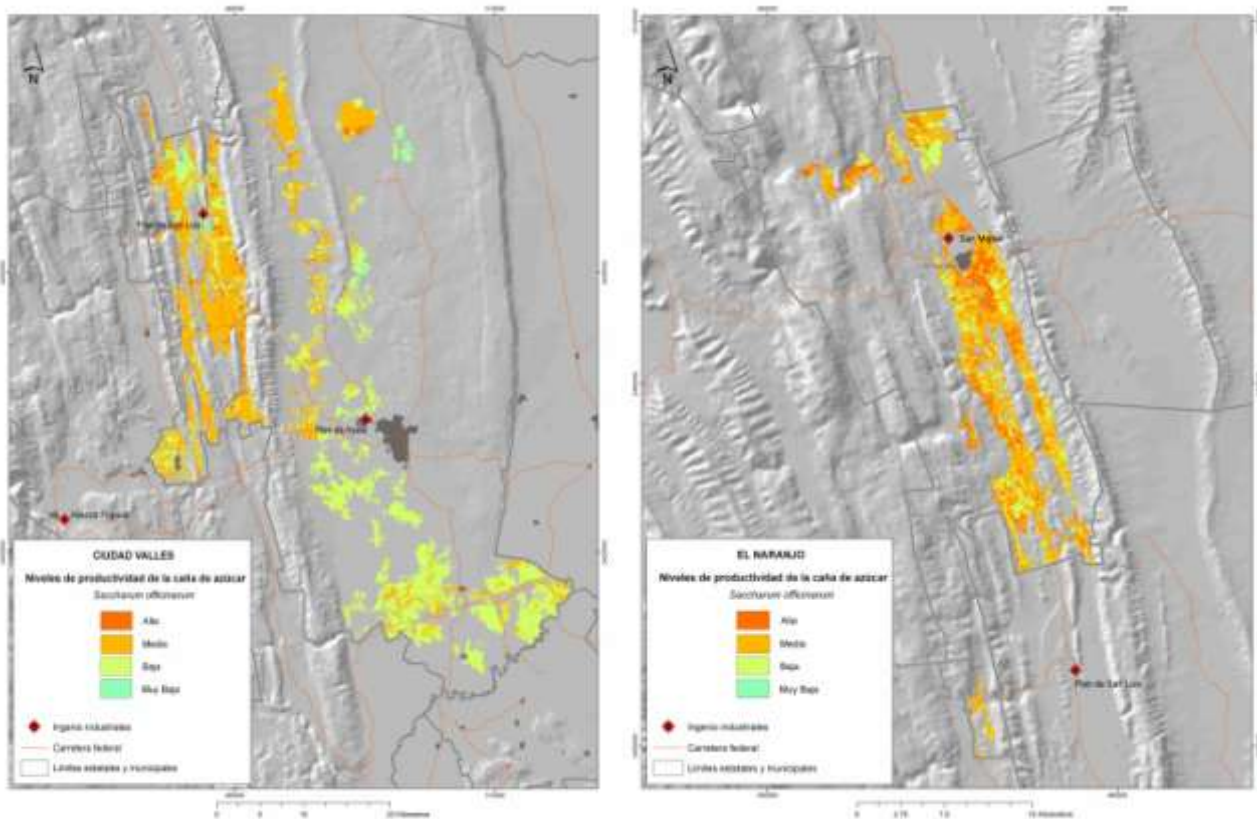


Figura 2.65. Distribución espacial de la zona cañera por nivel de productividad (Ciudad Valles y El Naranjo)

Cuadro 2.35. Superficie cañera por nivel de productividad

Municipio Superficie (ha)	Alta Productividad	Media Productividad	Baja Productividad	Muy baja Productividad
Tamasopo	663.8587	12132.2747	953.5591	1971.0675
Aquismon	119.2637	4053.9022	122.4291	324.445
Ciudad Valles	3398.855	27930.8408	3031.8667	7174.5775
El Naranjo	3712.3862	8889.3136	45.8589	288.5013

La comparación de los niveles digitales (ND, o valores digitales para cada píxel) medios, obtenidos en las distintas bandas involucradas en las firmas espectrales de caña de azúcar, permitió establecer que las diferencias más significativas, asimilables con los rangos de rendimientos preestablecidos, muestran una gran coincidencia con el cálculo del NDVI previo. Chuvieco (1996), afirmó que el contraste más nítido en la reflectividad espectral se produce entre las bandas visibles, especialmente el rojo (alrededor de 0.645 μm), y el infrarrojo (0.7 a 1.3 μm); por lo tanto, cuanto mayor sea el contraste entre ambas bandas, mayor será el vigor de la vegetación, y más clara su discriminación frente a otros tipos de cubierta, como fue establecido previamente en el cálculo del NDVI. Esto se observa en el gráfico de firmas espectrales, en las bandas 3 y 4, al presentar una superficie equivalente en los niveles medio y bajo de productividad; sin embargo, difiere

significativamente de lo reportado por los organismos oficiales al no considerar estos la distribución espacial y las características espectrales del cultivo (Cuadro 2.36).

Cuadro 2.36. Análisis de la superficie cañera por nivel de productividad (diversas fuentes)

Productividad	Clasificación	NDVI	SIAP (2009)
Alta (Mayor a 70 t/ha)	7,116.07	7,758.04	12,089.21
Media (70 a 60 t/ha)	36,368.10	37,274.7	11,913.28
Baja (60 a 50 t/ha)	36,297.63	36,054.44	39,310.24
Muy Baja (Menor a 50 t/ha)	9,376.84	8,056.9	23,253.90
Total	89,158.64	89,144.08	86,566.63

2.13. Análisis de temporalidad de la zafra azucarera de la Huasteca Potosina

A pesar de que la clasificación de imágenes de satélite para identificar tipos de vegetación, de una zona en particular depende de varios factores, como la identificación hecha por el intérprete, los métodos utilizados, la escala de trabajo y las variaciones climáticas, los resultados encontrados en este trabajo indican una buena aproximación con la realidad. La combinación de elementos de la PR y la incorporación de la información obtenida a un SIG, permitió el análisis espacial que hizo posible detectar las zonas cañeras y visualizar las posibles tendencias de cambio en los sistemas de manejo para incrementar la productividad. Asimismo, representan un avance en la aportación de conocimientos acerca de la problemática que enfrenta esta área cañera y, de acuerdo con lo recomendado por Del'Arco Sanches *et al.* (2005) y Maselli *et al.*, (2000), los modelos empleados para la clasificación tienen validez como análisis preliminar en la toma de decisiones.

Para el análisis de la temporalidad de la zafra azucarera, numerosos autores han reportado la utilidad de imágenes de alta resolución temporal, previo análisis con sensores de alta resolución espectral (Gonçalves 2008; Andrade, 2008; Lucas Schuler, 2007; Alesheikh *et al.*, 2007; Aguiar *et al.*, 2007; Pellegrino, 2001; Schmidt y Narciso, 2000); es decir, se reconocen las ventajas de la fusión de imágenes de alta resolución espectral con imágenes de alta resolución espacial.

En este sentido, el análisis del mapa resultante del trabajo de identificación en imágenes Landsat ETM+ y SPOT 5 y clasificación supervisada, evidencia que la distribución espacial de los niveles de productividad mantiene un patrón similar al que se reporta en campañas anteriores (zafra). Vieira *et al.* (2000) establecieron que los cultivos agrícolas, como la caña de azúcar, muestran cambios significativos en la respuesta espectral sobre el ciclo de crecimiento, que subyacen en el uso multitemporal de datos en percepción remota para el seguimiento de la fenología de los cultivos agrícolas. Lee, (2002) estableció que el desarrollo de la planta (fenología) es una función del clima, propiedades edáficas, radiación solar, prácticas de manejo y gestión, plagas y enfermedades.

El mapeo de los cultivos agrícolas es un desafío, ya que un mismo cultivo puede existir simultáneamente en diferentes parcelas y en diferentes etapas fenológicas; en ese caso, la respuesta espectral de la misma clase tiene una variabilidad no deseada, provocada por los diferentes valores de índice de área foliar (IAF) y la bioquímica del dosel y las hojas (Rolim da Paz *et al.*, 2009; Pellegrino, 2001).

En este sentido, los satélites de observación de la Tierra (por ejemplo, Landsat y SPOT) tienen, como principal limitante de su uso en la vigilancia de zonas agrícolas, su frecuencia relativamente baja, especialmente en las zonas de alta cobertura de nubes (Townshend y Tucker, 1984). Afortunadamente, este problema puede minimizarse mediante el análisis temporal, ya que con una sola imagen es difícil caracterizar y discriminar a los cultivos en relación con su productividad (Rolim da Paz *et al.*, 2009). El análisis temporal permite analizar el comportamiento fenológico y la dinámica de cada cultivo, y cuya descripción puede ser proporcionada por los índices de vegetación como el NDVI (el comportamiento temporal de valores de NDVI como función del crecimiento y desarrollo durante el ciclo fenológico de la caña de azúcar) o por la combinación de bandas. El análisis temporal mejora la discriminación entre clases, lo que permite, con el análisis gráfico del espectro de respuesta y la temporalidad, el seguimiento en tiempo real de la fenología del cultivo de caña de azúcar. Las imágenes NDVI del AVHRR NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer) son ampliamente utilizadas para el seguimiento de la vegetación debido a su alta resolución temporal y bajo costo (Heuminski de Ávila *et al.*, 2009; Gleriani *et al.*, 2005; Cavalli *et al.*, 2000).

La interpretación del índice NDVI derivado de imágenes NOAA-AVHRR para caña de azúcar debe considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales para distinguir las oscilaciones naturales de la vegetación cañera de los cambios en la distribución espacial causados por otros factores, por ejemplo:

- El agua tiene reflectancia $\rho_1 > \rho_2$, por lo tanto valores negativos de NDVI.
- Las nubes presentan valores similares de ρ_1 y ρ_2 , por lo que NDVI es cercano a 0.
- El suelo desnudo y con vegetación escasa o en crecimiento presenta valores positivos aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI

Este conjunto de imágenes constituye un archivo único y continuo de información sobre la superficie terrestre, y viene siendo intensamente utilizado para varios propósitos, especialmente para el seguimiento de la dinámica temporal y espacial de la vegetación, tanto en tiempo real como retrospectivamente.

La interpretación del NDVI puede ser cualitativa o cuantitativa; en el primer caso, por medio de la construcción de gráficas que muestran su comportamiento a través del tiempo. La evaluación cualitativa, por su parte, se basa en las diferencias de color. Los colores brillantes (morados, verdes o rojos) están asociados con una mayor actividad fotosintética y biomasa foliar (fase de crecimiento y madurez); es decir, valores de 0.8-0.9 indican las zonas de vegetación con gran vigor (Frantzova, 2010), en tanto que los colores oscuros (azul y negro) están relacionados con una baja actividad fotosintética y menor densidad foliar (fase de senescencia y caída de follaje), atributos que se manifiestan en la tonalidad rojo-morado. Las gráficas del NDVI facilitan el análisis cuantitativo de los cambios fenológicos mediante varios parámetros: el inicio de la etapa de crecimiento (emergencia de brotes foliares), las tasas de crecimiento y senescencia, los picos de producción máxima y mínima, y la duración de la etapa de crecimiento, entre otros. La pendiente positiva de la curva, es decir, su fase ascendente, está relacionada con la fase

de crecimiento y producción de biomasa, mientras que la pendiente negativa o descendente representa las fase de maduración, senescencia y caída del follaje (Manzo, 2009)

Este sentido, Heuminski de Ávila *et al.* (2009), Abdel-Rahman (2008) y Lucas (2007), establecieron que es posible dar seguimiento a las variaciones fenológicas de la caña de azúcar y a los cambio derivados del manejo del cultivo con imágenes NOAA, debido a su alta resolución temporal, a pesar de su baja resolución espacial en las regiones costeras donde hay gran cantidad de nubes; esto, debido a que el gran número de imágenes permite generar compuestos para la elaboración de mosaicos y la reducción de la interferencia por nubes, asimismo, es posible evaluar el comportamiento de la curva de NDVI en el rango del ciclo de la caña de azúcar mediante el examen de las composiciones de máximo valor, al comienzo, mitad y final del ciclo, lo que indica una correlación con elementos del clima (lluvia, temperatura, índice de sequía, etc.) y con la ubicación geográfica, y muestran, según Manzo (2009), una coherencia espacial y temporal con las observaciones fenológicas clásicas.

Este método ha sido ampliamente utilizado con datos de NDVI, cuando se utiliza el valor máximo de un píxel en una serie de imágenes para construir una composición máxima de un determinado período, y se registra el valor más alto para proporcionar un "enmascaramiento" del valor de NDVI o Composiciones de Valor Máximo (MVC) de NDVI; este parámetro ha sido utilizado con éxito para estimar el rendimiento de varios cultivos como caña de azúcar y para medir el estado hídrico de la vegetación (Nascimento *et al.*, 2009; El Hajj, 2009).

Los satélites NOAA-AVHRR tienen seis bandas del espectro electromagnético que corresponden a las regiones: visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo térmico (Cuadro 2.37).

Cuadro 2.37. Características espectrales de NOAA-AVHRR (Gonçalves, 2008).

Canal	Banda Espectral	
	Longitud de onda (µm)	Región
1	0,58 – 0,68	Visible
2	0,72 – 1,00	Infrarrojo Cercano
3A	1,58 – 1,64	Infrarrojo Cercano
3B	3,55 – 3,93	Infrarrojo Medio
4	10,3 – 11,3	Infrarrojo Térmico
5	11,5 – 12,5	Infrarrojo Térmico

Por lo tanto, para evitar la mezcla entre dos o más coberturas de cultivos (que son comunes en los píxeles del sensor AVHRR / NOAA, debido a la resolución espacial de 1,1 km²), se utilizaron los polígonos cañeros, por nivel de productividad derivados de tres identificaciones o mapeos, como referencia para la identificación de áreas con caña de azúcar. El primero corresponde a la zafra 2004/2005 y las dos restantes corresponden a las zafra 2007/2008 y 2008/2009, respectivamente. Cada mapa fue desarrollado y corregido utilizando imágenes de satélite de Landsat-7 ETM+, y SPOT5, clasificación

supervisada y trabajo de verificación de campo, en la principal región productora de caña de azúcar del Estado de San Luis Potosí (Figura 2.64).

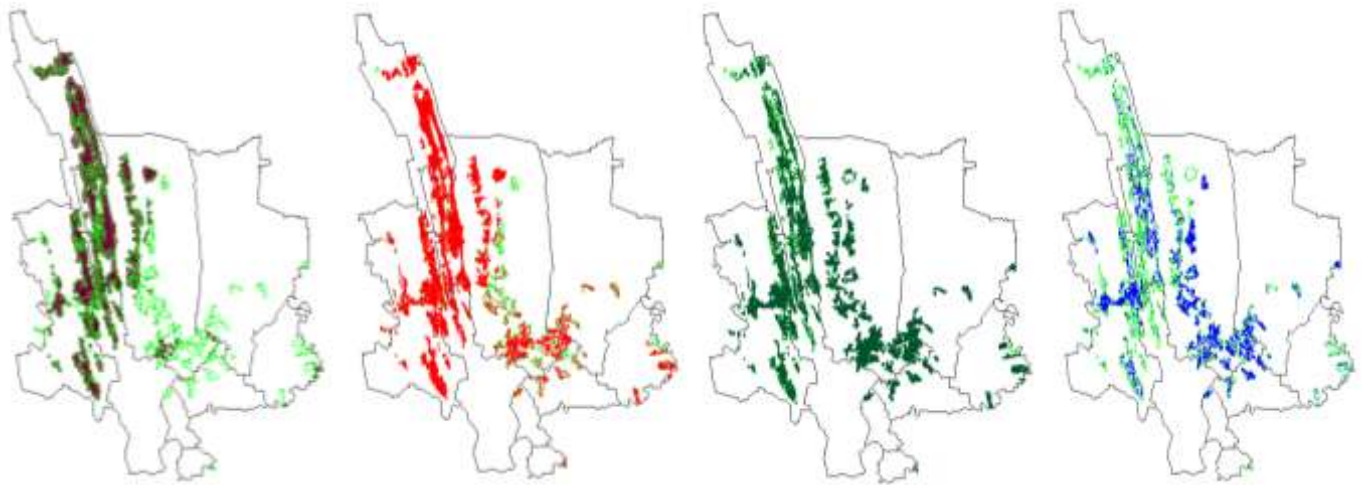


Figura 2.64. Polígonos cañeros por nivel de productividad (alto, medio, bajo y muy bajo)

Como paso inicial se realizó una tabulación cruzada mediante el algoritmo Cross (álgebra de mapas) con datos climáticos, y se obtuvo una base de datos derivada de cada nivel productivo (Cuadro 2.38).

Nivel Productivo	Clima	Lluvia (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Índice de Severidad de Sequía
Alto	(A)Cm Aw1	1100-1800	28-32	22-26	16-20	Fuerte
Medio	(A)Cm Aw1 (A)Cw2	1000-1800	28-32	22-24	16-18	Fuerte a Muy Fuerte
Bajo	(A)Cm Aw1	1000-1800	28-32	22-26	16-20	Fuerte a Muy Fuerte
Muy Bajo	(A)Cm Aw1	1100-1800	30-32	22-26	16-20	Fuerte a Muy Fuerte

Cuadro 2.38. Condiciones meteorológicas por zonificación productiva en la Huasteca Potosina.

Sin embargo, esta aproximación no permite establecer un análisis preciso del desarrollo de la zafra azucarera de la zona cañera de la Huasteca Potosina. En ciclos pasados, las variaciones en los elementos del clima y los patrones de lluvia permitían una planeación y manejo adecuado del uso de los recursos, como el caso particular del cálculo de estimados de producción de los campos cañeros (Figura 2.65). El clima, como “factor productivo”, tiene la particularidad de estar compuesto por diversos parámetros que influyen con diversa intensidad en el comportamiento de las especies vegetales, y tiene una variación espacial y temporal continua, con distinto grado de magnitud, incluyendo las fluctuaciones climáticas, de gran preocupación en la actualidad. En consecuencia, lo anterior se traduce en la posibilidad de estimar el efecto de un parámetro climático, importante para un cultivo específico con una probabilidad determinada y para cualquier punto del área en estudio.

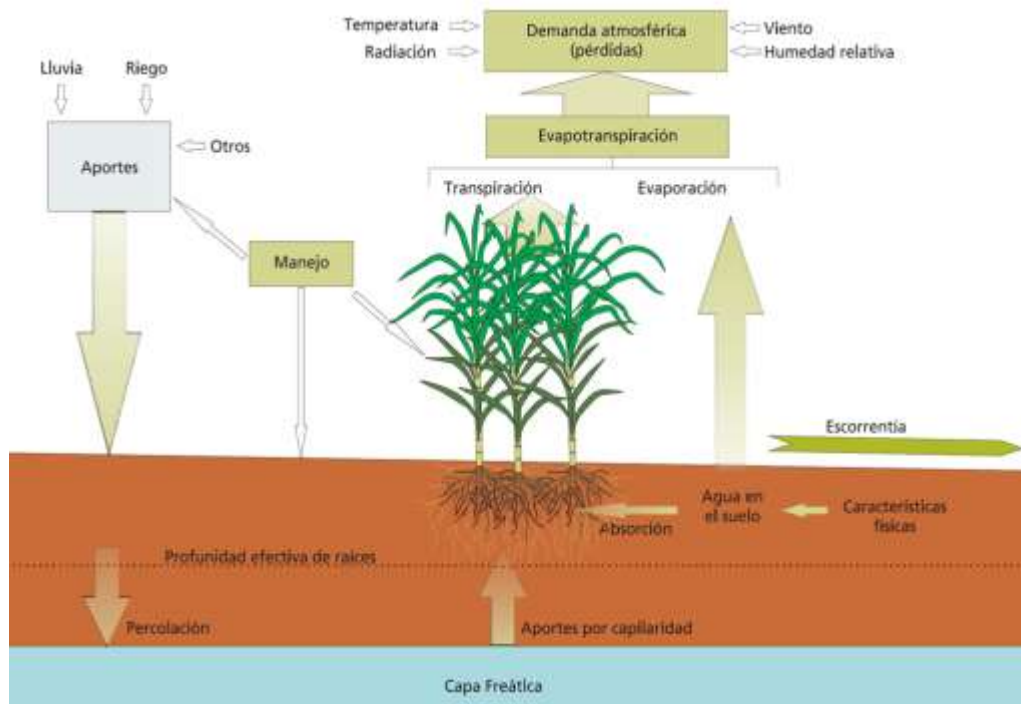


Figura 2.65. Interacción de factores climáticos y edafológicos en el cultivo de la caña de azúcar (Romero, 2009)

Actualmente la disminución y variabilidad pluvial, parece ser cada vez más marcada anualmente, lo que está causando bajos rendimientos y pérdidas totales agrícolas y otras consecuencias colaterales como plagas (Granados *et al.* 2008); por lo que, para determinar estas variaciones, en las zonas cañeras se llevó cabo el cálculo de Composiciones de Valor Máximo (MVC) de NDVI mediante el análisis de las imágenes AVHRR del satélite NOAA durante el periodo noviembre 2008 a enero 2010 (zafra 2008/2009).

Las imágenes utilizadas para determinar los indicadores de la zafra azucarera (14 en total, correspondiente a cada mes de la zafra) fueron obtenidas del satélite NOAA-AVHRR 17, 18 y 19, con resolución espacial nominal de 1.1 x 1.1 km² por píxel (1 píxel NOAA-AVHRR=1'102,500 m²) cuya adquisición se realizó a través del Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF). Cada imagen cubre zonas de 2,700 a 3,000 km por lado, por lo que se tiene una cobertura regional al 100 % de la zona cañera de la Huasteca Potosina. Las imágenes utilizadas son el resultado de una composición de 10 días por mes con la finalidad de reducir al mínimo los efectos por nubosidad; en general se tienen de 2 a 3 imágenes por mes con este tipo de características. Las imágenes se despliegan primeramente en falso color (RGB-321) sugerido por Gonçalves (2008) con la finalidad de hacer más visibles las zonas de vegetación y cultivos de alta humedad (Figura 2.66 y 2.67)

Para la generación del perfil de NDVI de la zona cañera de la Huasteca Potosina se consideraron sólo los píxeles con caña de azúcar (polígonos cañeros) en la escala NDVI en Niveles Digitales ND (0-255) durante la zafra 2008-2009 (periodo diciembre 2008 a enero 2010), en las cuales se importaron las bandas AVHRR 1 (ρ_1) (0,58 a 0,68 μm – rojo) y AVHRR 2 (ρ_2) (0,72 a 1,10 μm – infrarrojo cercano) de la serie de satélites NOAA para generar imágenes del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de Tucker (1979) que corresponde a la relación: $\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS})$ o $\text{NDVI NOAA} = (\text{Canal 2} - \text{Canal 1}) / (\text{Canal 2} + \text{Canal 1})$, y a la respuesta espectral de la caña de azúcar bajo ciertas condiciones agro-climáticas proporcionando datos para el seguimiento de la vegetación para posteriormente ser convertidos a la escala $-1.0 < \text{NDVI} < 1.0$.

Como resultado, esta metodología generó una hoja de cálculo y un gráfico de los perfiles promedio de NDVI, los cuales representan el comportamiento de todos los píxeles con caña de azúcar para cada polígono cañero analizado por nivel de productividad durante la zafra 2008/2009 (Figura 2.68).

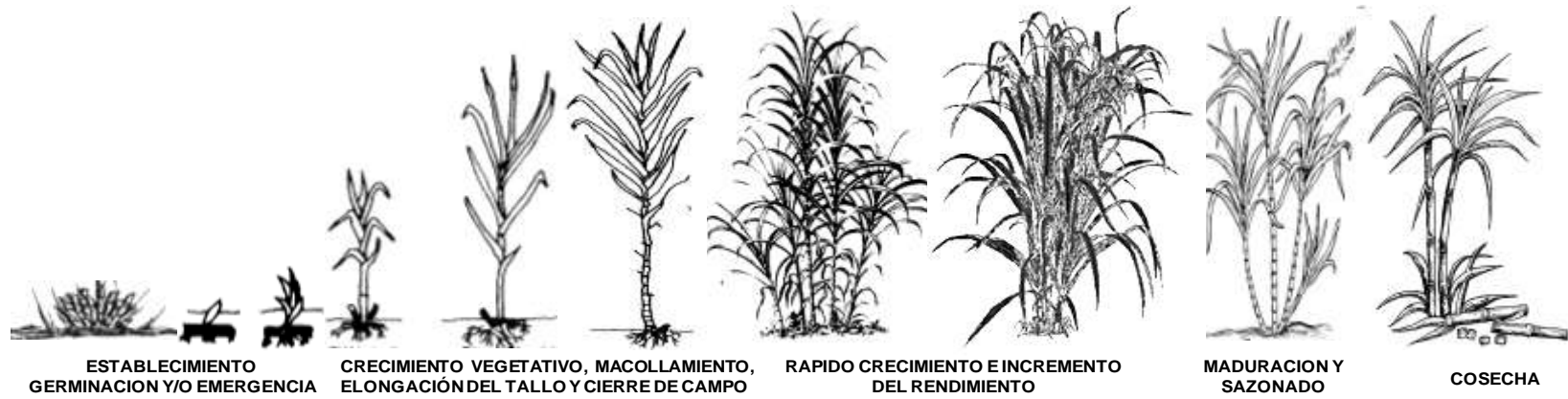
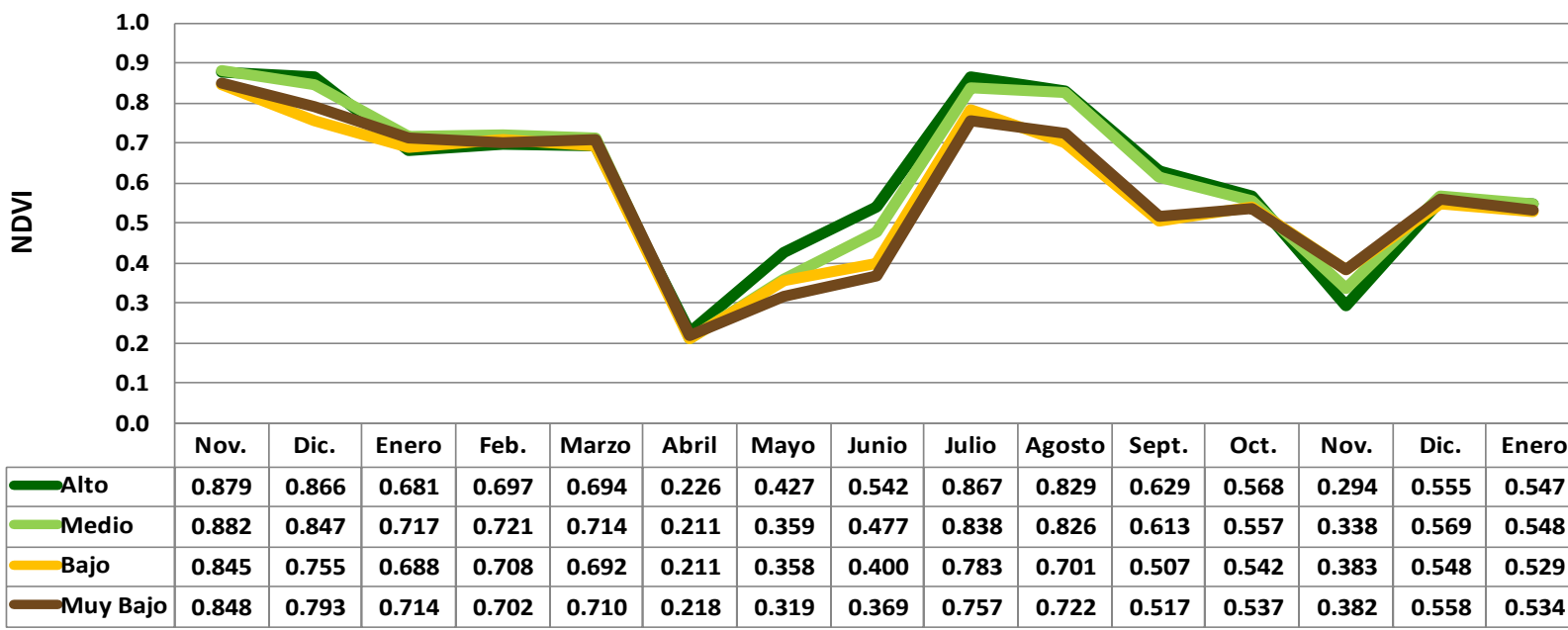


Figura 2.68. Perfil de NDVI de la zona cañera de la Huasteca Potosina zafra 2008/2009 (Noviembre 2008 a enero 2010)

La máxima media observada en la serie es de 0.867, mientras que la mínima promedio fue de 0.216; los valores máximos ocurrieron en julio para las zonas de alta productividad y el nivel mínimo se presentó en abril para toda la zona cañera; el valor promedio para esta zafra fue 0.597.

Se observó que la evolución temporal del NDVI en áreas con caña de azúcar, independientemente de la productividad o de la diversidad de prácticas de manejo o variedades y ciclos fenológicos y/o productivos, sigue la misma tendencia. A principios de la temporada de crecimiento y plantación de otoño/Invierno (en diciembre de 2008 y enero de 2009), después de cosecha y en la etapa de reposo fisiológico (febrero y marzo del 2009), la diferencia entre los valores de NDVI por nivel de productividad no es significativa y los valores de NDVI tienden a la baja durante este período. A lo largo del ciclo, sin embargo, la brecha de productividad, y por lo tanto la producción de biomasa, influye en el valor de NDVI principalmente en abril y mayo (menor valor de NDVI), cuando el dosel debe estar alrededor del 75 % de desarrollo y no existe una separación clara por niveles de productividad.

La saturación de NDVI se produce a partir de junio, después del inicio de la temporada de lluvias (mayo a septiembre de 2009), y llega a su máximo en julio y agosto (Figura 2.69) cuando la diferencia entre las parcelas con mayor y menor biomasa productiva derivada de la humedad y temperatura es más notable. Después de este período de saturación (octubre 2009), el cual corresponde a senescencia de la planta y a la concentración de sacarosa en los tallos molederos, la caída diferencial por nivel productivo es significativa en los valores de NDVI en noviembre del 2009 y se extiende hasta enero del 2010, cuando inicia la cosecha. El máximo del pico NDVI corresponde para la Huasteca Potosina a la estación de crecimiento o máximo dosel (100 %) durante julio de 2009, principalmente para las zonas de alta y media productividad, lo que cualitativamente se manifiesta en la saturación de colores brillantes (rojo y morado) por la alta humedad del dosel; por otro lado, los colores oscuros (azul y negro) derivados de la baja actividad fotosintética, predominan en las áreas con suelos expuestos y poca vegetación, con baja densidad de cepas o con algún tipo de estrés.

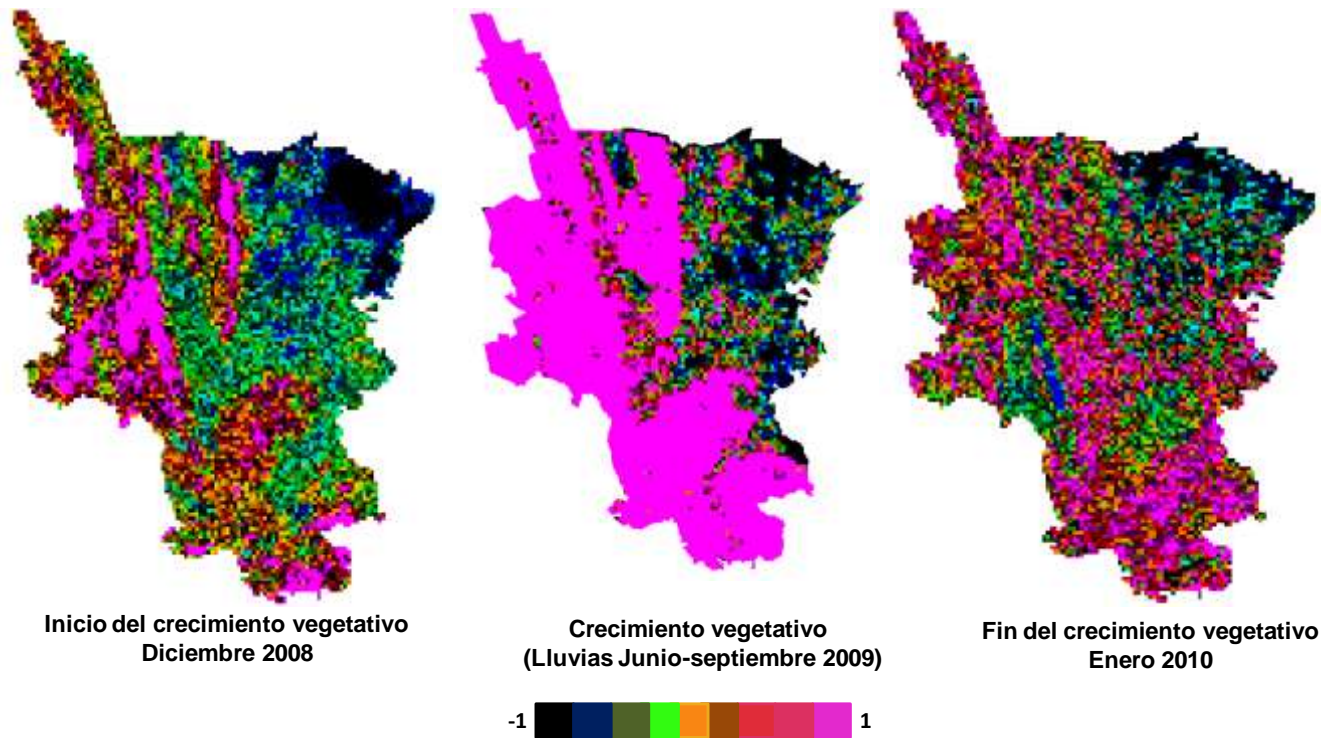


Figura 2.69. Imágenes NOAA-AVHRR de la Huasteca Potosina durante la zafra 2008/2009

En este sentido, derivado del análisis previo del NDVI, como indicador de productividad, se considera la línea de trabajo abordada por los autores analizados, quienes destacan la gran dependencia entre el NDVI y la climatología de la zonas cañeras, donde los valores muy bajos de NDVI indican la presencia de vegetación verde pero con escasa disponibilidad de agua (Dedios, 2009). En la etapa fenológica de máximo crecimiento (julio y agosto) que Allen (2006) define como el período de máxima energía o radiación solar directa—a la superficie terrestre, que incide directamente en la producción de caña de azúcar al explicar el 62 % de la productividad de caña por hectárea (TCH); es decir, los años de buena producción se caracterizarían por duraciones de radiación directa mayor de 7 horas promedio, o cantidades de energía mayor de 20 MJ/m²/día para los meses de julio y agosto.

Sin embargo, Castro (2010) concluyó que esta energía al ingresar al espacio atmosférico pasa por una serie de filtros influenciados por la incidencia de nubes y gases atmosféricos. Si en ese período se tuvieran cielos despejados, la energía que se recibiría en la superficie terrestre sería de 28.85 y 28.62 MJ/m²/día de energía respectivamente. La incidencia de nubes es alta en años con presencia del fenómeno “La Niña” (evento frío del Océano Pacífico) y baja en años con presencia del fenómeno “El Niño” (evento cálido del Océano Pacífico). Así, entre

julio y agosto, la energía solar de onda corta (radiación global) que llega a la superficie terrestre es menor de 20 MJ/m²/día en años de “La Niña”, mientras que en años de “El Niño” es mayor a 20 MJ/m²/día.

Por otro lado, la Oscilación Austral El Niño (El Niño-Southern Oscillation (ENSO), o simplemente El Niño (En valores de -2 a 2), es uno de los fenómenos que se relaciona directamente con variabilidad en los patrones meteorológicos normales de una región, y tiene el efecto de alterar los patrones de circulación atmosférica de manera negativa en cuanto a la cantidad de lluvia en la Huasteca Potosina. Por lo tanto, debido a la importancia del clima en la agricultura, la presencia de condiciones climáticas adversas ocasionadas por el fenómeno ENSO tiende a manifestarse en la reducción de la producción agrícola (Algara 2009)

Castro, (2010) explicó que el inicio de las lluvias de cada año, está regido en la mayoría de los años por la presencia y comportamiento de fenómenos como “El Niño” y “La Niña”. La incidencia del Niño, durante el invierno provoca una disminución de las lluvias en junio y canículas más prolongadas en los meses de julio y agosto; así también, una salida del invierno precoz en octubre. La Niña, por lo contrario, provoca incrementos de las lluvias en el período de zafra (mayo-octubre).

Estas anomalías presentan una periodicidad de entre 2,5 a 8 años y son evidentes en muchas zonas de cultivo de azúcar (Everingham *et al.*, 2003 y Solow *et al.*, 1998). Las precipitaciones pueden diferir en función de la fase (El Niño o La Niña). y describen y pronostican sus efectos estacionales como la desviación positiva o negativa de variables como la precipitación y la temperatura (Singels, 1998)

Cada episodio de El Niño, La Niña o años neutrales se extiende de octubre a septiembre del año siguiente, aproximadamente el 50 % de los años como neutral, el 25 % de El Niño, y el 25 % la Niña (Everingham *et al.*, 2003). Bonilla *et al.* (2003) reportaron 29% de las veces la fase El Niño, 48 % del tiempo la fase neutral y 23% La Niña. Timmermann *et al.* (1999) concluyeron que con el cambio climático global, las proporciones podrían variar a 34% para el evento El Niño, 31% para la fase La Niña y 35% para el estado neutral, lo que tendría repercusiones económicas en los cultivos.

Los impactos de La Niña son típicamente débiles durante el verano y al inicio del otoño en el Hemisferio Norte, pero se fortalecen considerablemente durante el resto del otoño e invierno, lo que afecta directamente a la maduración y al sazonado de la caña de azúcar.

La caña de azúcar se encuentra dentro de los cultivos más afectados por el fenómeno. En general, los cambios en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar provocan alteraciones en las decisiones de siembra, uso de insumos y factores productivos, lo cual afecta a las ganancias y, finalmente, al bienestar de productores y consumidores (Borisova, 2009).

Kuhnel (1994) reportó el efecto negativo de El Niño en la producción de caña de azúcar en Australia en el caso de cultivos de varios años (resocas). Borisova (2009) mencionó que las condiciones de El Niño que siguen a una fase de La Niña reducen el rendimiento medio de caña de azúcar en promedio 7 %. Bonilla *et al.* (2003), en el Valle del Cauca en Colombia, registraron una reducción promedio agregada de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar del 6.5% y 4.3% a causa de los eventos El Niño y La Niña, respectivamente, en relación con la fase neutral, al generar variaciones de $\pm 60\%$ en la precipitación y aumentos en la temperatura media mensual del aire hasta de 2 °C; dichas fases impactan parcialmente la producción de caña de azúcar por hectárea en $-12,5\%$ y $-8,7\%$, respectivamente y en el caso particular de la Niña, un incremento de ésta en un 1% disminuye, en promedio, el rendimiento agrícola en 0,05%.

Salgado *et al.* (2010) expusieron que en el proceso agro-industrial de la producción de azúcar, la influencia del ENSO en la temporada invernal se muestra mucho más lluviosa que lo normal, a veces más cálida y otras veces más fría, en términos de desviaciones positivas o negativas de las variables precipitación y temperatura; sin embargo, si llueve durante la estación de maduración y sazonado, es decir de octubre a diciembre, en años de La Niña, afecta considerablemente a la zafra y al proceso de maduración, y la caña produce más paja que tallos molederos al permitir que la lluvia excedente continúe el desarrollo foliar y que la acumulación de sacarosa se detenga; esto explica los bajos rendimientos de campo al retrasarse la maduración durante noviembre, y prolongarse hasta enero o febrero.

El fin de La Niña 2008/2009 y el inicio de El Niño fuerte 2009, provocó en la temporada la drástica caída del valor de NDVI (Figura 2.70) y efectos en la zafra 2008/2009 de la Huasteca Potosina, cuyos ingenios, según datos del Manual Azucarero Mexicano 2010 (CNIAA, 2010), reportaron un retraso en el inicio de la zafra debido al exceso de lluvia durante noviembre y diciembre del 2008 y enero del 2009. registrando los Ingenios Alianza Popular (25 de enero de 2009), Plan de Ayala (11 de enero de 2009), Plan de San Luis (12 de diciembre de 2008), y San Miguel del Naranjo (30 de Noviembre de 2008). Por lo tanto, este fenómeno puede ser significativo en los rendimientos de campo (t/ha) (Figura 2.70)

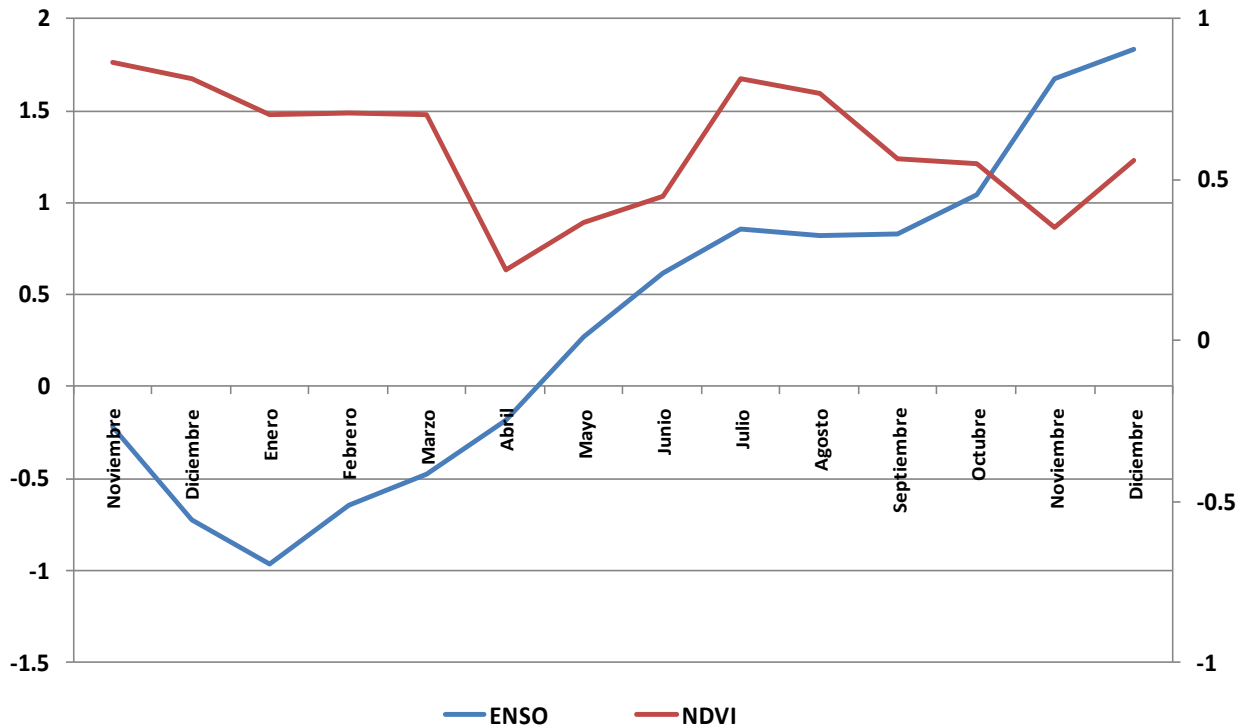


Figura 2.70. NDVI en la zona cañera de la Huasteca Potosina (Fin de La Niña 2008/2009 e inicio del Niño 2009/2010)

En estas circunstancias, cuando se analiza la producción de caña de azúcar, el efecto del clima (temperatura, precipitación, ENSO) es fundamental en el análisis de la productividad. La variabilidad en el comportamiento de la energía que llega a la superficie de la tierra es muy importante debido a que no se puede modificar su comportamiento; pero, en relación a la cantidad de agua que recibe el cultivo en todas las etapas fenológicas, su variabilidad debe ser un componente en la planificación agrícola; es decir, las fechas indicadas para las épocas óptimas de zafra son las que mejor integran los elementos climáticos temperatura y precipitación y su relación con el tipo de suelo (capacidad de retención de humedad) y la evapotranspiración potencial (ETP), principalmente durante el máximo requerimiento de agua de la caña de azúcar en la etapa de elongación. Lo anterior lo definió Parra (1989) al afirmar que el factor climático que más limita la producción de caña de azúcar es la distribución de la precipitación pluvial, ya que térmicamente el desarrollo del cultivo no es afectado. A pesar de que la contribución del suelo no presenta mayor poder predictivo sobre el rendimiento del cultivo, que los factores climáticos, Fogliata (1995) señaló que la humedad edáfica constituye la limitante más importante para el cumplimiento adecuado de las fases fenológicas.

Por lo tanto, para determinar el efecto de los componentes temperatura y precipitación sobre el NDVI en la zona cañera de la Huasteca Potosina, la caracterización climática se realizó en primera etapa analizando los registros de

temperaturas máximas y mínimas (°C), precipitación (mm) y evaporación (mm). Así, se obtuvieron datos promedio mensuales de cada variable al con los datos meteorológicos de campo, durante el periodo analizado, procedentes de las estaciones de la zona cañera (5 de Mayo, Estación Coyoles, Plan de Ayala, La Hincada, Tampaya, El Estribo, El Encanto, Tancojol, Rancho el Canal, Tamasopo y El Rosario) (Figura 2.71 al 2.75)

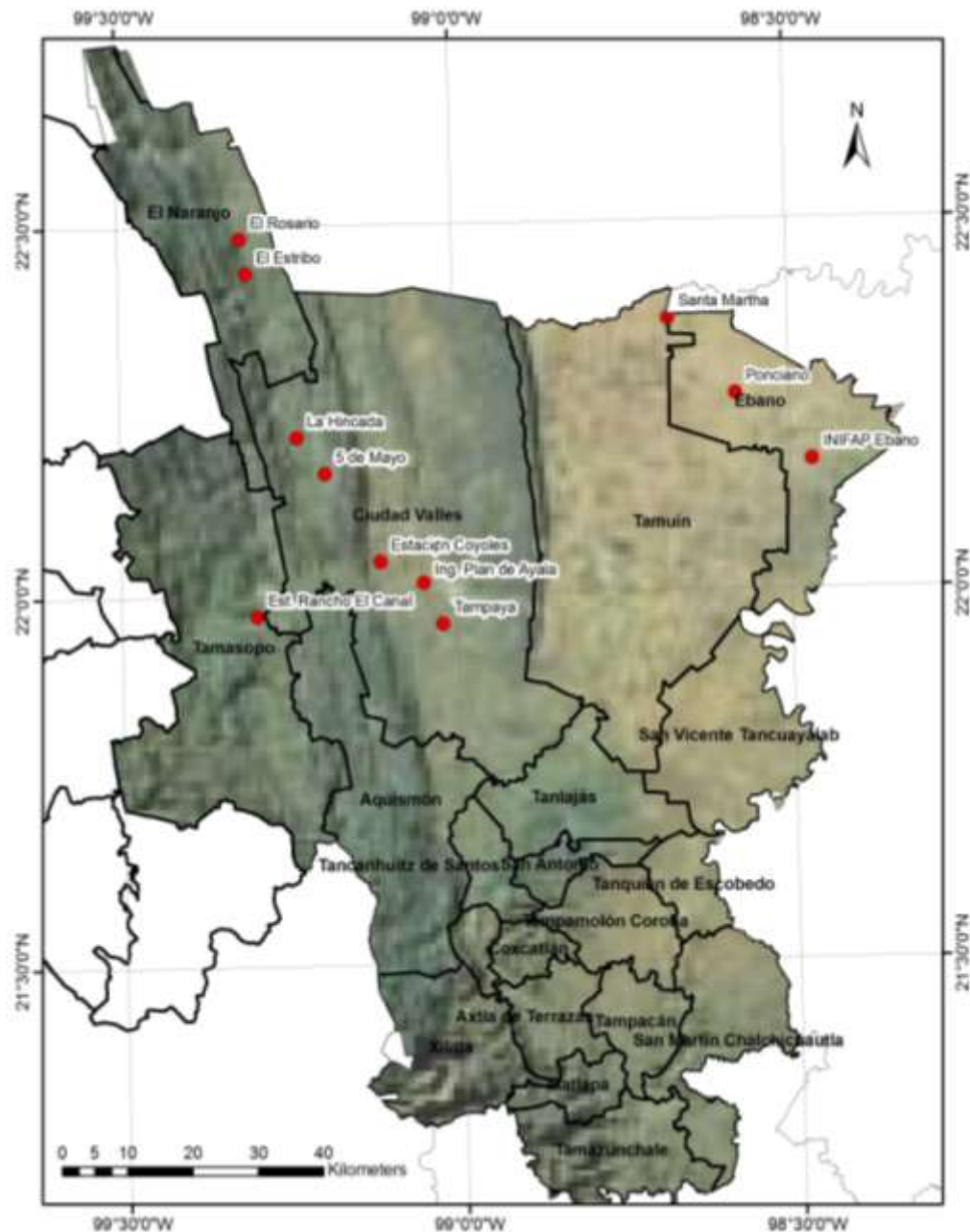


Figura 2.71. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas de la Zona Cañera de la Huasteca Potosina

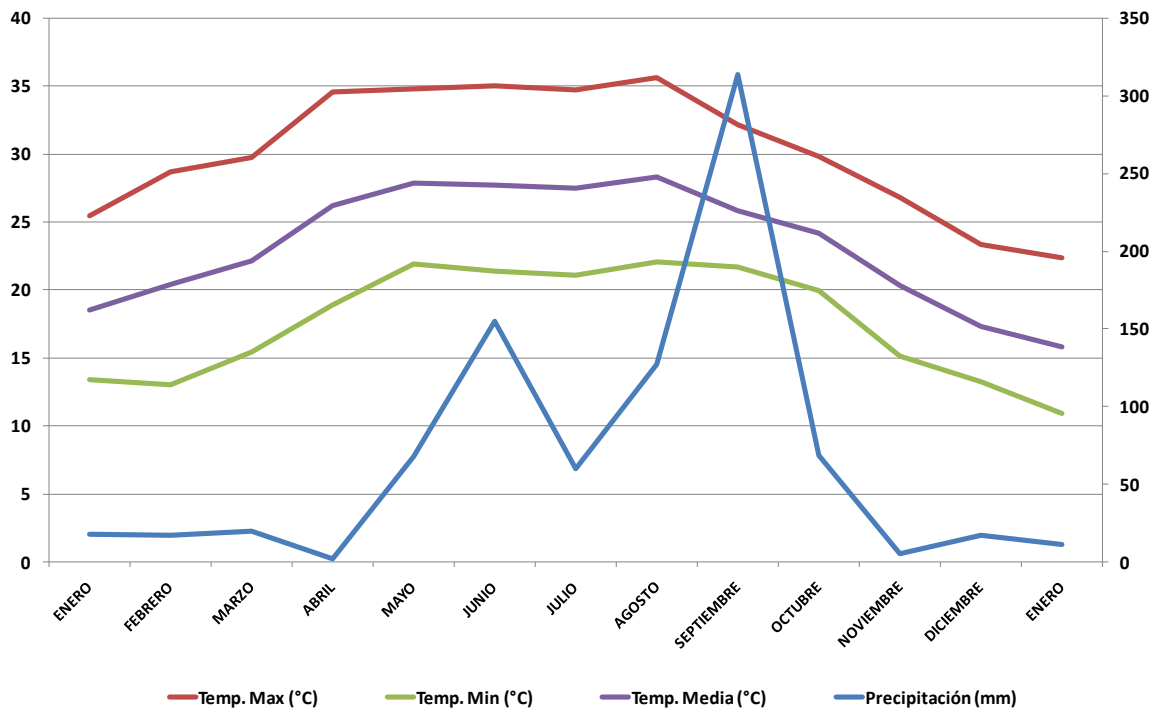


Figura 2.72. Temperaturas (°C), Precipitación (mm) de la zona cañera de la Huasteca Potosina (zafra 2008/2009)

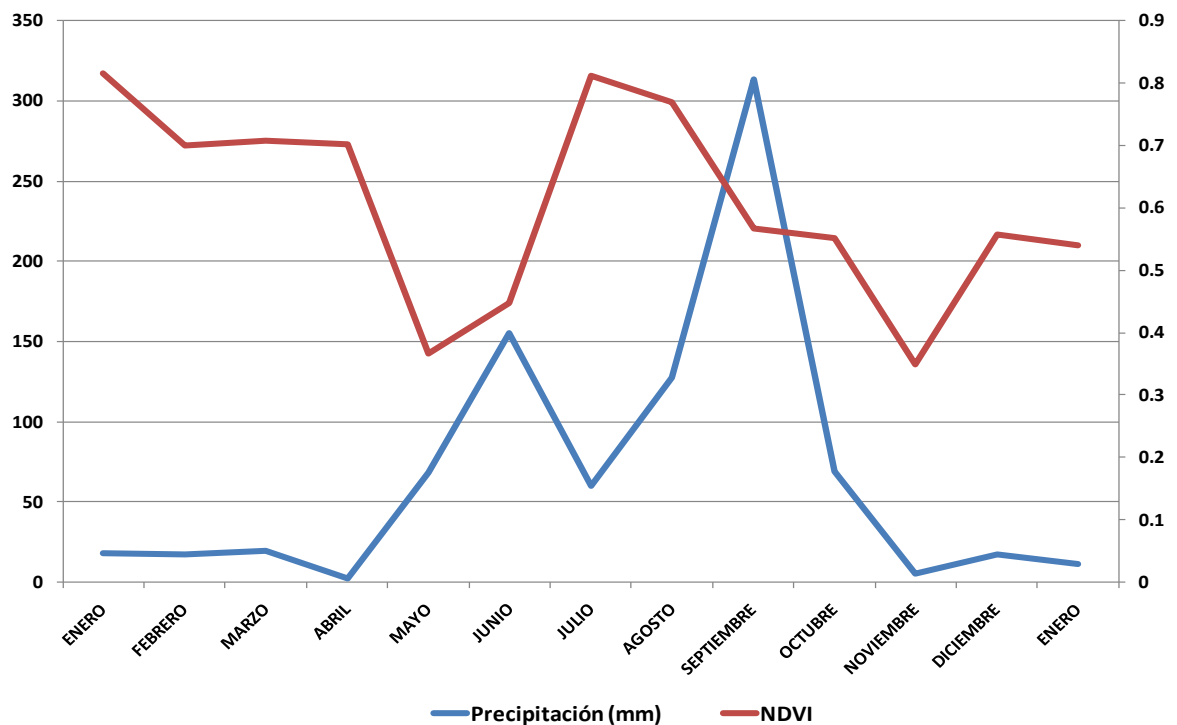


Figura 2.73. Precipitación (mm) y NDVI de la zona cañera de la Huasteca Potosina (zafra 2008/2009)

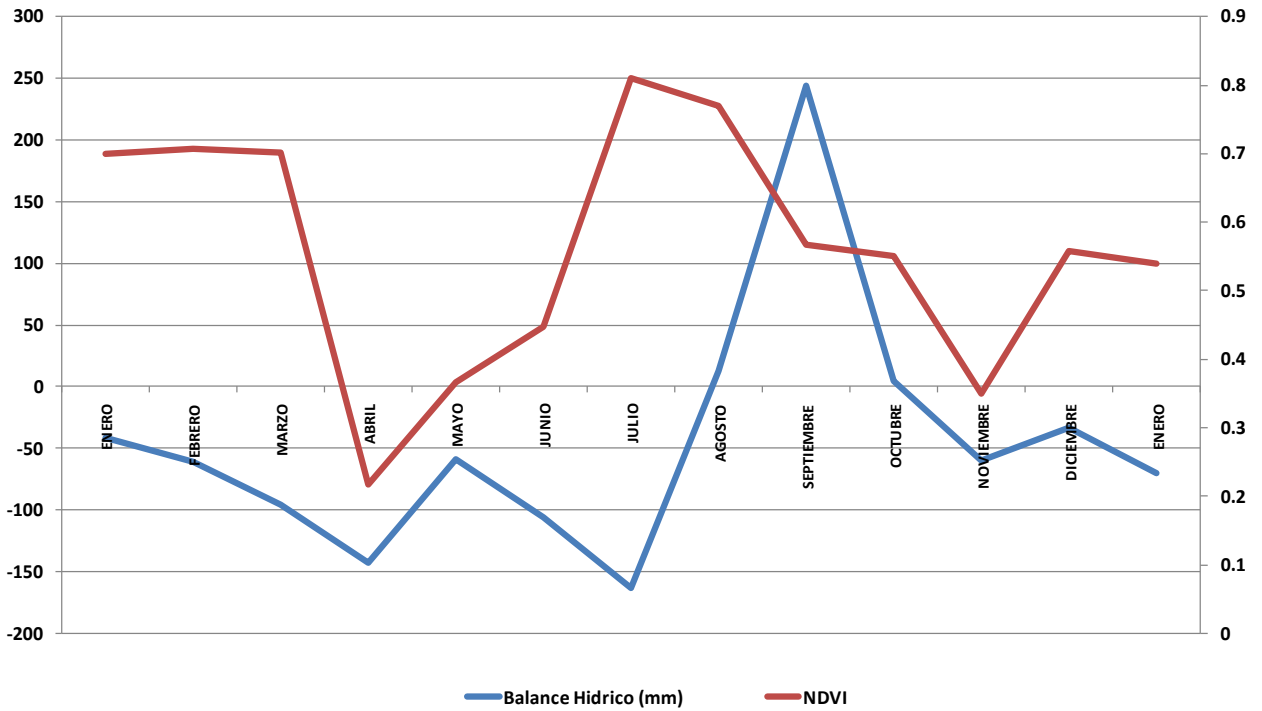


Figura 2.74. Balance hídrico (mm) y NDVI de la zona cañera de la Huasteca Potosina (zafra 2008/2009)

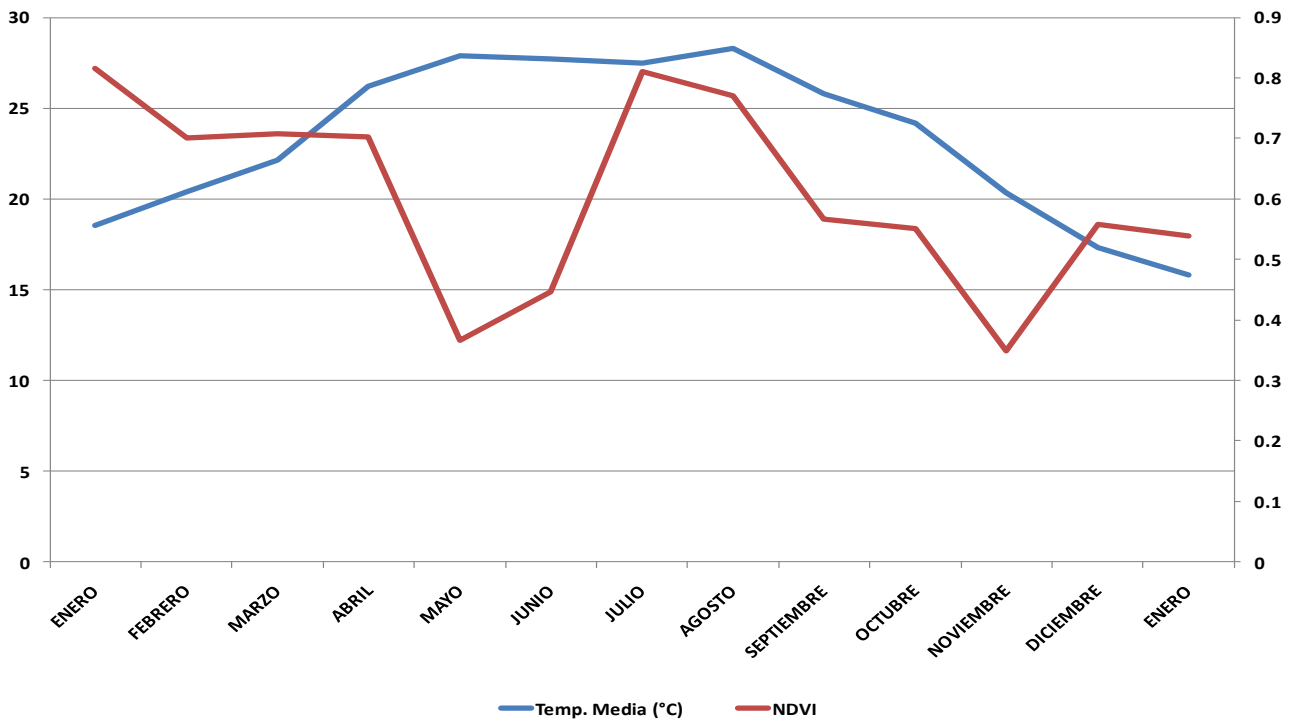


Figura 2.75. Temperatura media (°C) y NDVI de la zona cañera de la Huasteca Potosina (zafra 2008/2009)

Los valores de NDVI, de noviembre de 2008 a enero de 2010, se caracterizaron por mantener la tendencia general de acumulación de biomasa en hojas y tallos molederos de acuerdo con lo reportado por Gonçalves, (2008); Scarpari *et al.* (2004) y Pellegrino (2001). Sin embargo, el agua representa del 65% al 70% del peso total de caña (Benvenuti, 2005) y en este sentido, las precipitaciones durante los meses de invierno, al inicio de la temporada de cosecha, rebrote o brotación de las yemas vegetativas (enero de 2009) y al final del ciclo, sólo lograron acumular 882.63 mm; así, durante el periodo de crecimiento, esta distribución y cantidad de la precipitación no permitió satisfacer las necesidades hídricas del cultivo (Inman-Bamber, 2005) pues se registró un déficit de -571.423 mm. Esta situación se presentó de forma crítica para la zona cañera en las estaciones meteorológicas El Rosario en el Naranjo y 5 de Mayo en Ciudad Valles, al presentar valores negativos durante todo el ciclo de crecimiento de la caña. El caso contrario ocurrió en las zonas cañeras de las estaciones Coyoles, Tampaya (Cd. Valles) y El Encanto (San Vicente), las cuales registraron balance hídrico positivo.

Las temperaturas se mantuvieron en el umbral óptimo de productividad de media a alta del cultivo al presentarse un verano cálido (26.7 °C) con un pico de temperatura máxima promedio en agosto (35.7°C), durante la etapa de máximo desarrollo del dosel cañero; esto, junto al factor precipitación (promedio 127.2 mm), propició el máximo desarrollo vegetal (NDVI 0.811). Por otra parte, el otoño semicálido (22.3 °C) cuando las temperaturas promedio comenzaron a descender durante octubre (24.2 °C), presentó condiciones favorables, estación seca, soleada y fresca, para que el cultivo alcanzara la madurez y sazonado, especialmente a partir de noviembre del 2009, lo cual se reflejó en la caída de la curva del NDVI a partir de octubre con un valor de 0.550, el cual establece el fin del ciclo fenológico.

Es decir, durante el año agrícola, la temperatura media no fue menor a 21°C, por lo que no se retardó el crecimiento de los tallos. Si bien la temperatura no fue una limitante para el cultivo (Cuadro 2.39), la disponibilidad hídrica si constituyó un problema importante debido a que según Salgado *et al.* (2010) el periodo de zafra durante enero a abril se clasifica como seco cuando es menor que 300 mm (húmedo >420mm, semi-húmedo 300-420mm) y apenas acumuló 120.6 mm, en promedio durante el periodo de estiaje con un déficit hídrico de -571.4 mm en promedio. Estos datos clasifican a la zona cañera como límite, con restricciones principalmente en los meses de enero a abril y hasta la etapa fenológica 4 (75 a 100% de cobertura del dosel) y antes de la madurez y sazonado (Cuadro 2.38 y Figura 2.76).

Cuadro 2.39. Características del clima y las condiciones de desarrollo del cultivo de caña de azúcar (Brunini et al. 2010)

Temperatura promedio (°C)	Clasificación	Déficit anual (mm)	Clasificación
< 18	No Apto	< 240	Apto
18–19	Límite de aptitud	240–300	Aptitud media
19–21	Marginal	300–400	Límite de aptitud
21–26	Apto	400–600	Límite con restricciones
> 26	Límite de aptitud	600–800	No Apto con ajustes
	No apto	> 800	No Apto

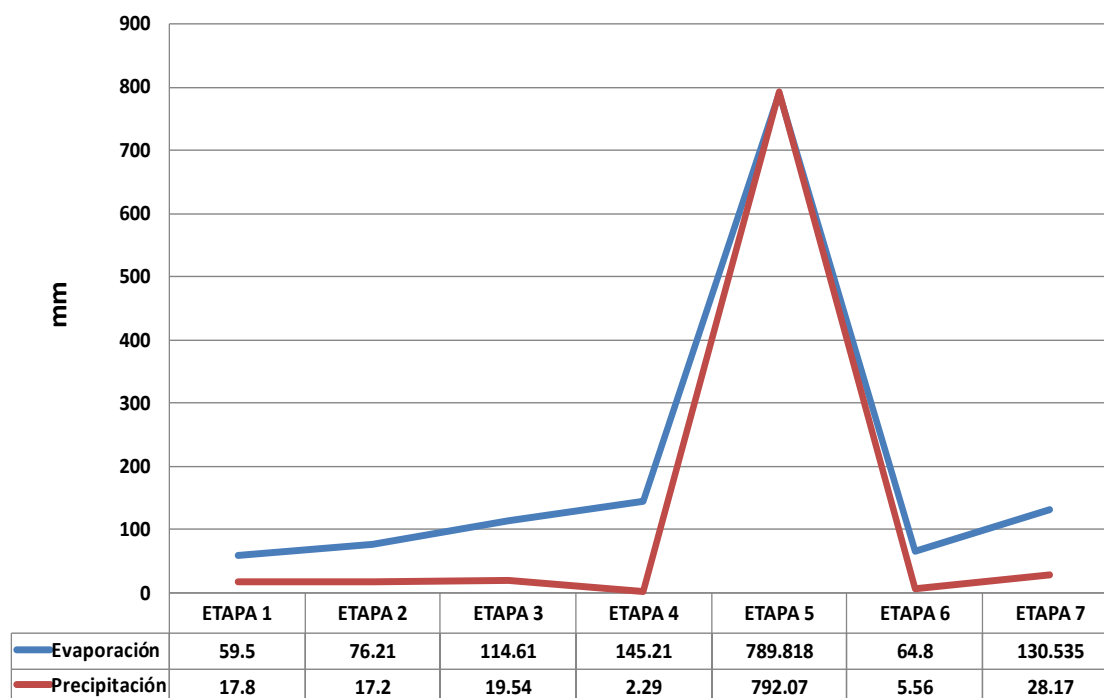


Figura 2.76. Balance hídrico zafra 2009/2010 (déficit en las etapas 1 a 4 y 6 a 7)

Sin embargo, estos indicadores no establecen con precisión los períodos de déficit o exceso y el efecto del clima; es decir, la necesidad de agua de un cultivo, o la cantidad de agua requerida para compensar las pérdidas por evaporación y transpiración (Allen, 2006).

Una forma de evaluar el impacto del clima sobre la producción de caña de azúcar puede ser a través de la utilización de índices, que cubran simultáneamente los parámetros atmosféricos principales, en lugar de utilizarlos de forma individual. Como ejemplo, se presenta el Índice de Satisfacción de Necesidades Hídricas (ISNH), calculado por la simulación del balance hídrico durante el ciclo del cultivo; este índice se obtiene por la ecuación:

$$ISNH = \frac{(Pp * 100)}{NH} \quad (1)$$

Donde Pp precipitación y NH necesidad hídrica del cultivo,

$$NH = ETp * Kcr \quad (2)$$

Donde ETp evapotranspiración potencial (mm)

Kcr= coeficientes del cultivo de caña de azúcar por etapa fenológica

Este índice expresa la relación entre la oferta de agua como lluvia o riego, la cantidad de agua que es consumida por la planta (valor deseable para garantizar su productividad máxima) y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. El índice oscila entre cero y uno; este último ocurre cuando la cantidad de agua almacenada en el suelo es máxima (Gonçalves, 2008).

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo estas condiciones supone que no existen limitaciones de ningún tipo en el desarrollo de los mismos. Que no existe ninguna limitación debida a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de arvenses o malezas competidoras o baja fertilidad. Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, Kc cambia desde la siembra hasta la cosecha. En la Figura 2.77 se presentan, en forma esquemática, dichos cambios.

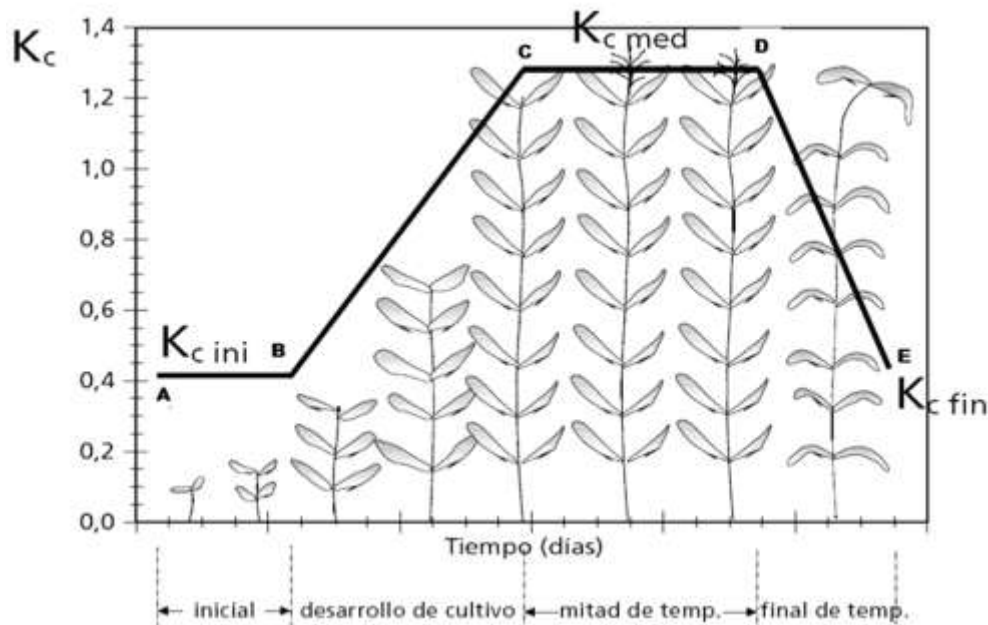


Figura 2.77. Curva generalizada de coeficiente de cultivo Kc (Allen, 2006)

Los efectos combinados, tanto de la transpiración del cultivo, como de la evaporación del suelo se integran en este coeficiente único del cultivo (Kc). Así, Kc incorpora las

características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo (Cuadro 2.40)

Cuadro 2.40. Coeficientes de cultivo (Kcr) por etapa fenológica para caña de azúcar (Gonçalves, 2008; FAO, 2008; Allen, 2006; Jiménez, 2004; Doorenbos y Kassan, 1979).

Etapas de desarrollo	Días	Coeficiente del cultivo (Kc)
Etapa 1 (siembra a 25% de cobertura del dosel)	30-60	0.50
Etapa 2 (25 a 50% de cobertura del dosel)	30-40	0.80
Etapa 3 (50 a 75% de cobertura de dosel)	15-25	0.95
Etapa 4 (75 a 100% de cobertura del dosel)	45-55	1.10
Etapa 5 (cubrimiento total)	180-330	1.15
Etapa 6 (madurez temprana)	30-150	0.95
Etapa 7 (maduración)	30-60	0.70

Para calcular las necesidades hídricas de la zona cañera, se tomo como base un ciclo "caña soca" y los datos de precipitación de la zona cañera durante la zafra 2009/2010 por etapa fenológica y por estación meteorológicas para determinar las necesidades hídricas del cultivo en la Huasteca potosina (Cuadro 2.41) de acuerdo a la metodología de Brunini et al. (2010), Gonçalves, 2008, Marin et al. (2008), Allen, 2006 y Scarpari et al. (2004) y las ecuaciones 1 y 2

Cuadro 2.41. Necesidades hídricas en la Huasteca Potosina

Etapas de desarrollo	Días	Necesidades Hídricas (mm)	Por etapa de desarrollo (mm)
Etapa 1 (siembra a 25% de cobertura del dosel)	30	0.991	29.75
Etapa 2 (25 a 50% de cobertura del dosel)	30	2.03	60.97
Etapa 3 (50 a 75% de cobertura de dosel)	15	3.63	108.88
Etapa 4 (75 a 100% de cobertura del dosel)	45	5.32	159.73
Etapa 5 (cubrimiento total)	180	5.04	908.29
Etapa 6 (madurez temprana)	30	2.05	61.56
Etapa 7 (maduración)	30	1.168	35.05
Total	360		1364.23

Para la Huasteca Potosina se requieren por lo menos 1364. 23 mm por ciclo fenológico anual para cubrir las necesidades hídricas de la caña. Los mayores valores de necesidades hídricas (NH) del cultivo para la zona Huasteca se obtuvieron en la etapa fenológica 5 (cubrimiento total del dosel) con requerimientos de 5.04 mm/día. Las NH más bajas se encontraron en la etapa fenológica de siembra-brotación (etapa 1), siendo éstas de 0.991 mm/día. En la última etapa fenológica, maduración, las NH se asemejan a las de la etapa 1. El valor de 1364.23 mm resulta consistente con el determinado por Jiménez (2004) para la zona cañera del sur de Tamaulipas (1,452.1 mm).

Para el cálculo del Índice de Satisfacción de las Necesidades Hídricas de los Cultivos (ISNH) se emplearon los datos de evaporación y de las necesidades hídricas del cultivo por etapa fenológica (Cuadro 2.42)

Cuadro 2.42. ISNH de la zona cañera de la Huasteca Potosina

Etapas de desarrollo	Días	Necesidades Hídricas (mm)	ISNH (%)
Etapa 1 (siembra a 25% de cobertura del dosel)	30	0.991	59.83
Etapa 2 (25 a 50% de cobertura del dosel)	30	2.03	28.21
Etapa 3 (50 a 75% de cobertura de dosel)	15	3.63	17.95
Etapa 4 (75 a 100% de cobertura del dosel)	45	5.32	1.43
Etapa 5 (cubrimiento total)	180	5.04	121.86
Etapa 6 (madurez temprana)	30	2.05	9.03
Etapa 7 (maduración)	30	1.168	48.45
Total/Promedio anual	360		41 %

Por lo tanto, la zona cañera presenta déficit hídrico (relación P/NH \leq 0,5), para las etapas fenológica 3 y 4 y, por lo contrario, se presenta un exceso en la etapa 5.

Almeida *et al.* (2008) y Silva Neto *et al.* (2003), establecieron que variables como precipitación, evapotranspiración, cantidad de agua almacenada en el suelo, disponibilidad para las plantas y drenaje, ejercen influencia directa sobre el balance hídrico del suelo y determinan el valor del NDVI cañero es sensible a las variaciones de biomasa a lo largo del año (Cuadro 2.43 y Figura 2.78), la cual presenta asociación directa con las condiciones meteorológicas en cada región; según Castro (2010); Moore, (2009) y Jiménez, (2004), se deben considerar también las prácticas de preparación de suelos, abonamiento y fertilización, repoblación y volteo de cepas, control de plagas y malezas, selección de variedades, debido a que la falta de agua afecta drásticamente la productividad de la caña y el riego se justifica como un recurso tecnológico indispensable en el aumento de la productividad de los cultivos en regiones donde la insuficiencia o mala distribución de las lluvias hacen inviable la explotación agrícola

Cuadro 2.43. Análisis de NDVI de la zafra azucarera 2008/2009

Zona productora	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
Alta	0.867	0.226	0.547
Media	0.838	0.211	0.548
Baja	0.783	0.211	0.529
Muy Baja	0.757	0.218	0.534

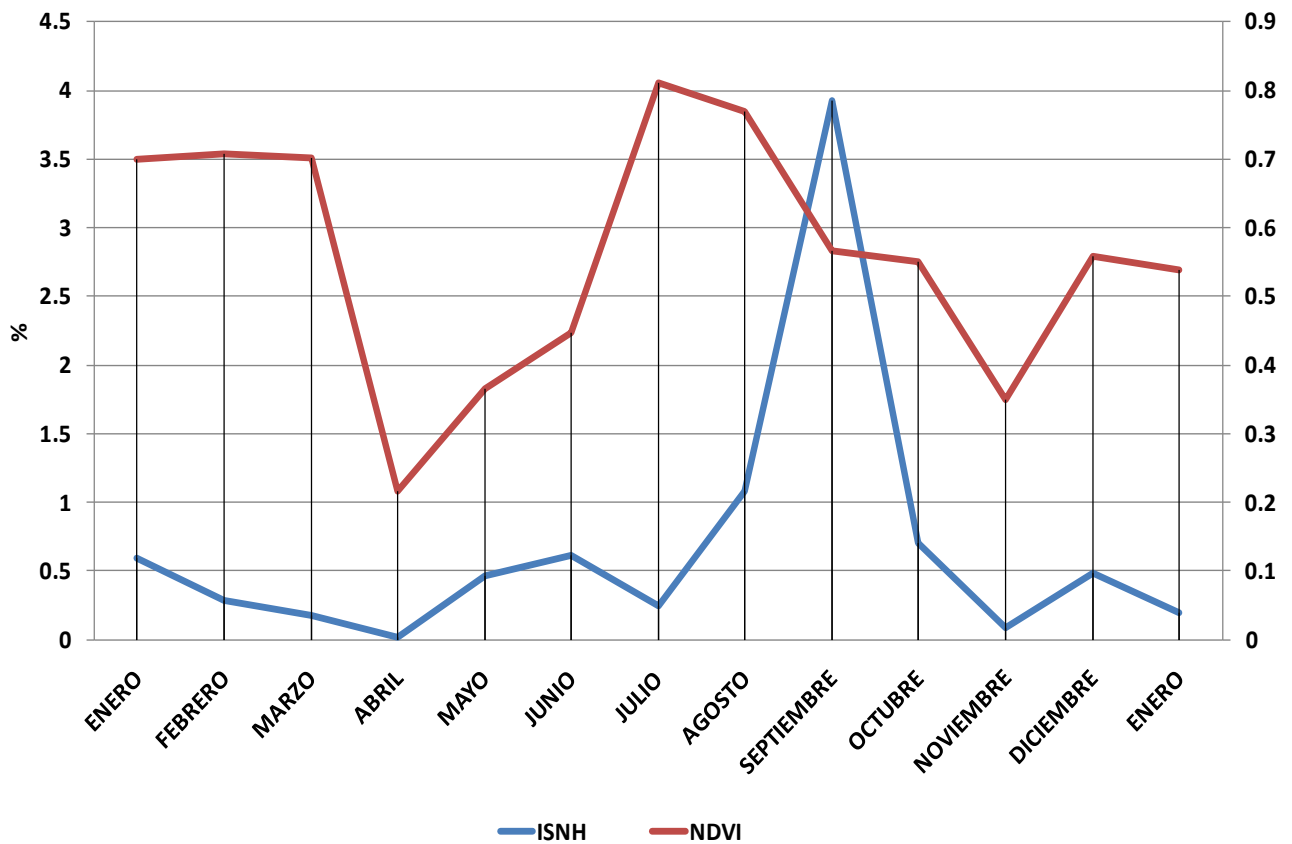


Figura 2.78. Índice de satisfacción de Necesidades Hídricas y NDVI de la zona cañera

Por lo tanto, para la zona cañera, el déficit hídrico de enero a mayo, el cual corresponde a la fase de brotación después de la cosecha, tiene resultados consistentes en el índice NDVI al presentar una caída considerable a partir de marzo y abril, y satisfacer sólo el 17.9 % y 1.4 % posteriormente inicia su recuperación en junio, derivada de las precipitaciones de mayo al incrementar a 46 % el ISNH al inicio de su desenvolvimiento vegetativo. (Cuadro 2.44). Sin embargo el exceso de agua en agosto y septiembre no refleja esta tendencia debido a que la sequía previa generó bajo desarrollo foliar (Fauconnier, 1975). Es decir, la satisfacción de las necesidades hídricas desde el plantío o brotación, hasta el estado de máximo crecimiento (julio y agosto)²² determina la formación de la biomasa vegetal y el inicio de la senescencia y maduración; esto hace que el NDVI vuelva a caer a pesar de las intensas precipitaciones de septiembre. Por lo tanto, los períodos prolongados de estiaje, influyen decisivamente en la producción final y en la respuesta espectral de la caña de azúcar. Por lo tanto, el ISNH determina el valor del NDVI.

²² Por cada 10 mm (0.4 pulgadas) de agua que se aplica al cultivo, se produce una tonelada de caña

Cuadro 2.44. ISNH (Periodo enero 2009/enero 2010)

Mes	ISNH (%)
ENERO	59.83
FEBRERO	28.21
MARZO	17.95
ABRIL	1.43
MAYO	46.49
JUNIO	61.81
JULIO	24.56
AGOSTO	107.92
SEPTIEMBRE	392.68
OCTUBRE	70.36
NOVIEMBRE	9.03
DICIEMBRE	48.45
ENERO	19.87

En este sentido, Romero (2009) sostiene que las condiciones térmicas e hídricas, asociadas a las épocas de plantación o brotación, constituyen los factores que prácticamente explican la dinámica de las fases iniciales de la caña. El mismo autor resalta que, si bien el período crítico para el cultivo se centra en los meses de junio a agosto, indudablemente el crecimiento alcanzado en las fases iniciales ejerce un efecto notable en el desarrollo del cultivo; en el caso de crecimiento insuficiente durante ese período, puede provocar disminuciones de alrededor del 43% en el aprovechamiento del período de gran crecimiento; por ello, este autor destaca la elevada sensibilidad de la caña planta al déficit hídrico en el rendimiento ya que el rápido establecimiento de un elevado número de tallos primarios, la generación y expansión del sistema foliar y radicular y un inicio temprano del amacollado influyen en la determinación de la población final de tallos. Además, asociados con su velocidad de ocurrencia, influyen en la capacidad competitiva del cultivo con las malezas (cierre temprano del cañaveral) y en el aprovechamiento adecuado de los recursos ambientales y de manejo, y enfatiza la importancia que adquiere, para el logro sostenido de altas producciones de la caña de azúcar, el mantenimiento de niveles hídricos adecuados durante todo el ciclo del cultivo.

Humbert (1974) estableció que los excesos durante la estación lluviosa pueden reducir las tasas de crecimiento y que los suelos con drenaje deficiente (particularmente los suelos tipo vertisol de la Huasteca) pueden disminuir la cantidad de radiación directa disponible para la caña, y hacer ineficientes las labores para el control de arvenses y la fertilización. Así, la caña madura tardíamente y, en consecuencia, el contenido de azúcar almacenada en el tallo se reduce.

Para Greenland (2005), los valores altos de rendimiento de caña de azúcar tienen más probabilidades de ser alcanzados durante los años en los que la precipitación es menor a 6,4 mm/día durante agosto y septiembre (para la Huasteca se registraron 4.24 mm en agosto y 10.45 mm en septiembre), y cuando el excedente de agua del suelo es menor

a lo largo de la temporada de crecimiento; es decir, si en agosto las precipitaciones son inferiores y la temperatura máxima es superior a la media más alta (para la Huasteca esta condición se cumple para el mes de agosto al registrar la temperatura media más alta 28.3 °C y la máxima 36.65 °C). Estas condiciones tienden a acompañar períodos de menor cobertura de nubes y valores más altos de radiación en el dosel. Esta situación contribuiría a estimular el crecimiento temprano (etapa 5) tanto de la caña planta como de la soca, y obtener mayores rendimientos.

De acuerdo con las conclusiones de los anteriores autores, los valores de vigor vegetal NDVI de la zona cañera, resultaron consistentes con las condiciones climáticas durante la zafra 2008/2009, e intervinieron en la productividad de la zafra azucarera en la Huasteca Potosina. De acuerdo con estos datos, debería esperarse una productividad media a baja (rendimiento de campo 70-60 t/ha y agroindustrial >7.5 t/ha). Sin embargo, durante la temporada 2008/2009, el Manual Azucarero Mexicano (2010) reportó rendimiento de campo de 51.025 t/ha y agroindustrial de 6,22 t/ha, muy inferior a lo esperado y menor al promedio nacional (21.5% por debajo de la media nacional).

Esta tendencia se ha perfilado desde el despegue de la agroindustria azucarera de la Huasteca Potosina (década de 1970) probablemente relacionada con deficiencias de manejo y gestión (resocas, riego, despoblación de cepas, compactación de superficie etc.) en la agroindustria azucarera de la Huasteca. Rostron, (1972) estableció que el crecimiento y la productividad de caña de azúcar, bajo riego y temporal, declinan al incrementarse la edad del cultivo (resocas) debido a que su capacidad para responder a determinadas condiciones climáticas no favorables también disminuye; ello repercute, por lo tanto, en su calidad agroindustrial como materia prima (Figuras 2.79 a 2.81).

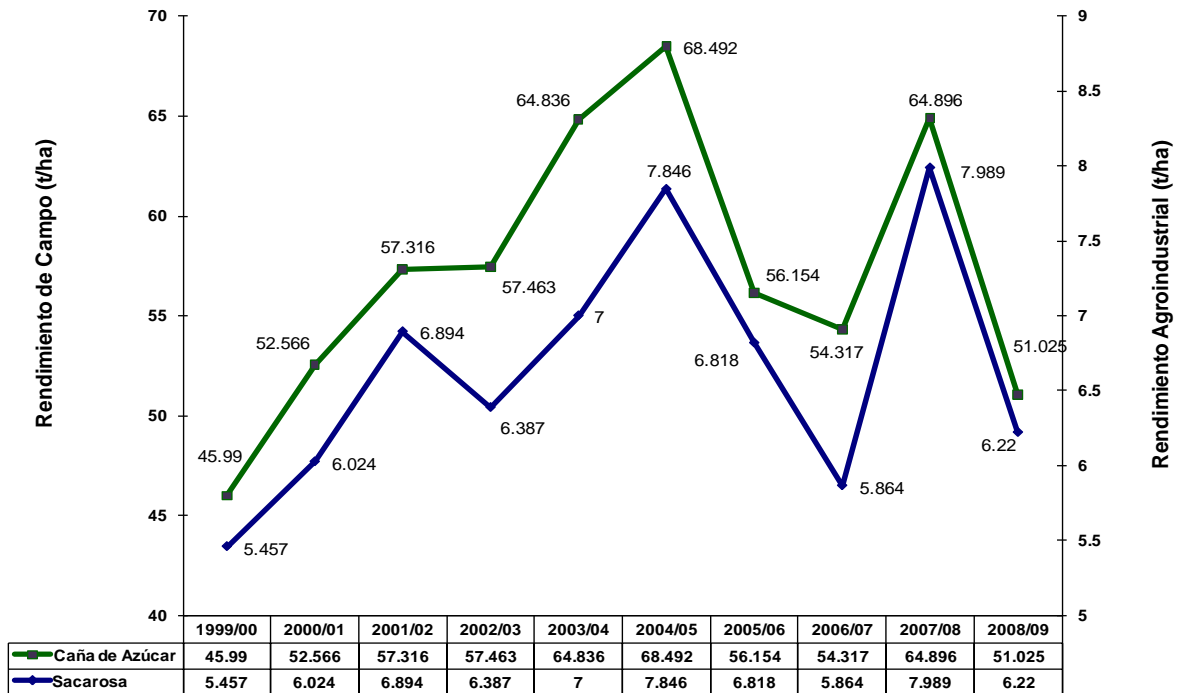


Figura 2.79. Productividad del campo cañero de la Huasteca Potosina, con datos del Manual Azucarero Mexicano (2010)

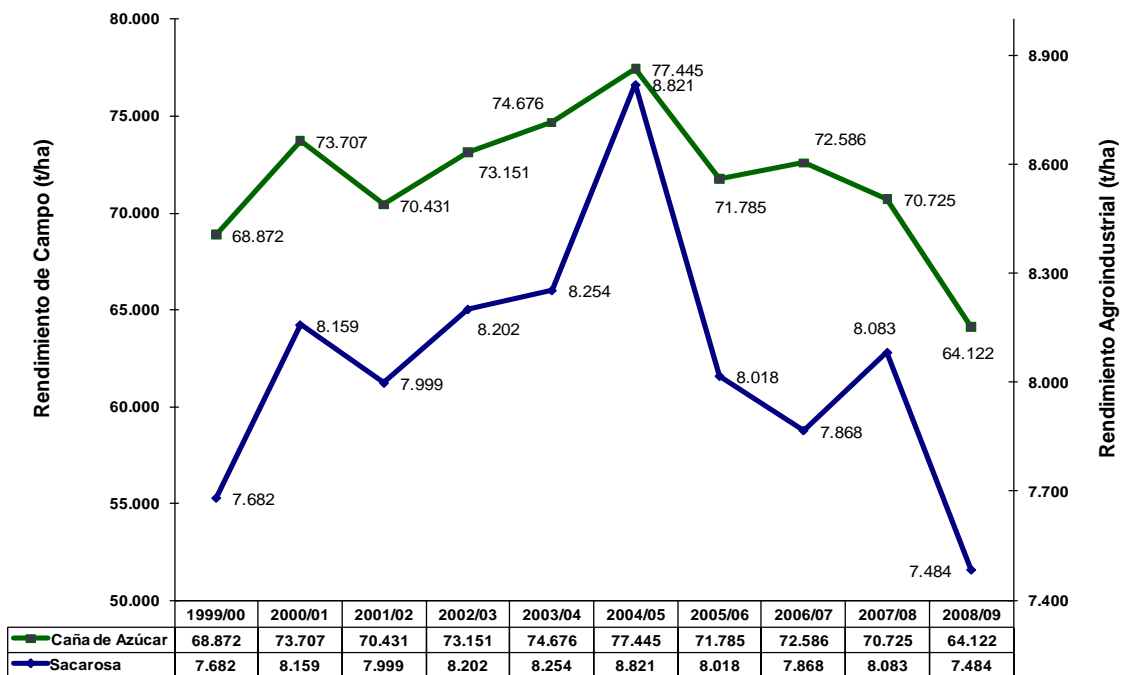


Figura 2.80. Productividad del campo cañero mexicano, con datos del Manual Azucarero Mexicano (2010)

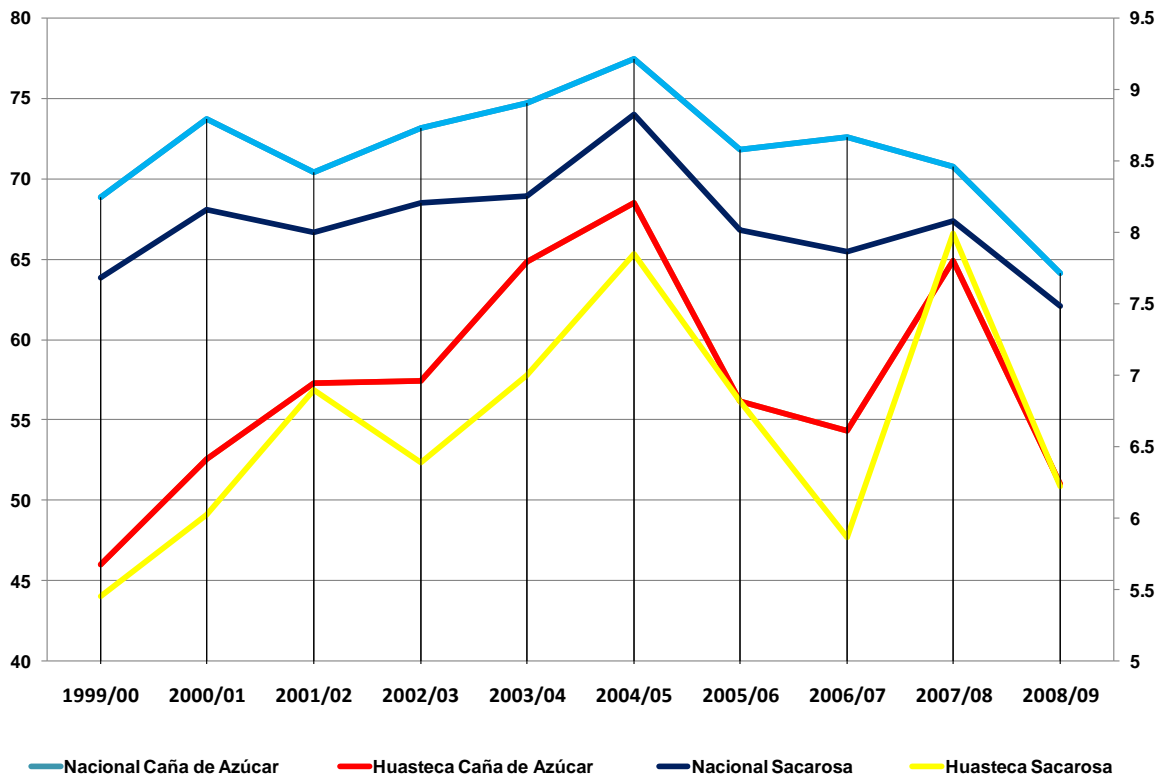


Figura 2.81. Productividad del campo cañero de la Huasteca Potosina, con datos del Manual Azucarero Mexicano (2010)

2.14. Calidad de la caña de azúcar en la Huasteca Potosina

La calidad de la materia prima se reconoce al término de su procesamiento industrial por la cantidad de azúcar que se recupere por tonelada de caña molida (rendimiento fabril). Una materia prima de óptima calidad será aquella que se caracteriza por un alto contenido de sacarosa, un bajo contenido de materias extrañas, un bajo contenido de sustancias solubles no-sacarosa y por un nivel adecuado de fibra; todo ello asegura un máximo rendimiento fabril y la mejor calidad del azúcar obtenida, lo que resulta en una mejor eficiencia y rentabilidad, tanto de la fábrica como del productor cañero (Subiros, 1998, 2000).

La calidad de la materia prima constituye la base del proceso industrial, al determinar la máxima cantidad de azúcar que la fábrica puede recuperar, según la eficiencia fabril de cada ingenio (Figura 2.82).



Figura 2.82. Características de la calidad de la caña de azúcar (Larrahondo, 1995)

La caña de azúcar está constituida por jugo y fibra. La fibra es la parte insoluble en agua y está formada principalmente por celulosa. El jugo está compuesto por agua y sólidos solubles en agua (sacarosa y otros constituyentes), cuyo contenido se expresa comúnmente como el "Brix" (expresado en porcentaje del jugo). El contenido de sacarosa (azúcar comercial), expresado como un porcentaje del jugo y determinado mediante un método polarimétrico, se denomina "Pol". La razón porcentual entre el Pol y el Brix del jugo se conoce como "Pureza". Desde el punto de vista operativo, se requieren, para determinar la madurez de la caña, lecturas de Brix entre 15–22%, ya que este valor representa el umbral económico para la recuperación rentable de sacarosa en fábrica de los campos cañeros (Figura 2.83).

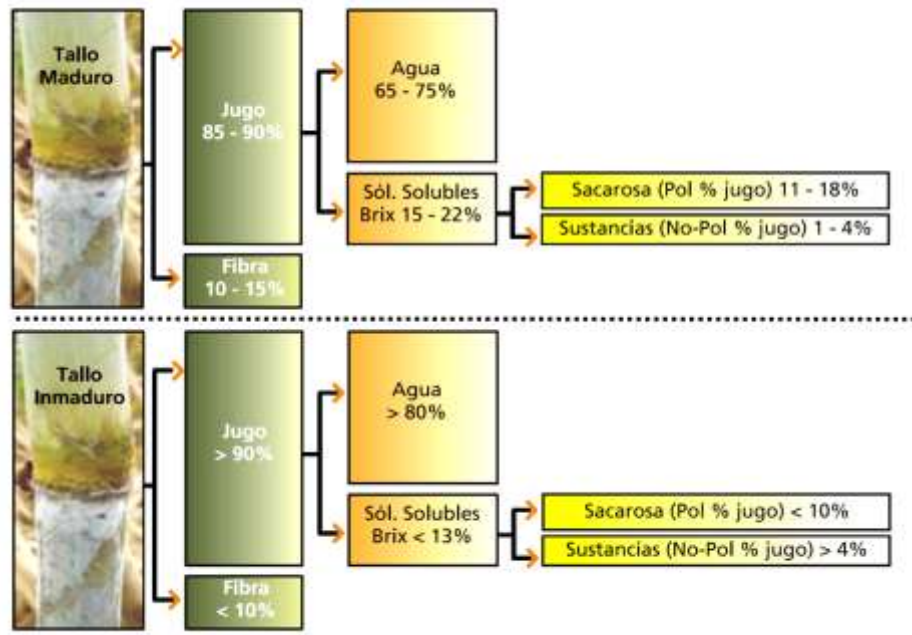


Figura 2.83. Composición química típica de tallos molidos maduros e inmaduros (Romero, 2009)

La calidad de los jugos afecta el procesamiento de la caña y la recuperación de la sacarosa en los ingenios. La cantidad de sustancias “no-sacarosa” o indeseables, que aumentan por falta de maduración de la caña o que son generadas por condiciones de deterioro (quema, demora en la molienda, heladas, etc.), afectan en distintas etapas el proceso fabril; destaca, en especial su efecto negativo en la cristalización, pues altera la forma (Figura 2.84) y el color del azúcar.

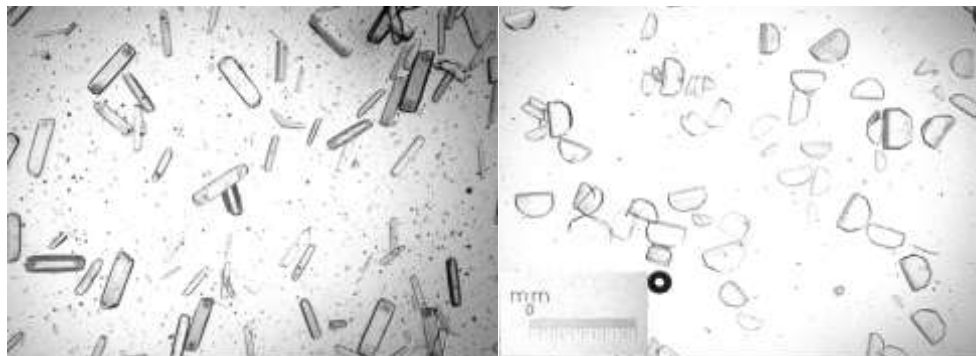


Figura 2.84. Deformación de los cristales de azúcar (izquierda) debido a problemas de calidad de la caña de azúcar (Romero, 2005)

La zafra (con una duración media total de 160-180 días) debe adaptarse a las condiciones climáticas típicas del área cañera de la Huasteca Potosina por la marcada influencia que ejercen estos factores en la calidad de la materia prima, en especial al inicio y al final de la zafra. En este sentido, en el campo cañera se ha venido incrementado la preferencia por la variedad CP 72-2086, derivada de los progenitores

CP 62-374 y CP 63-588 de tallos erectos, de color verde amarillento y longitud moledera de más de 3.0 m, de gran precocidad en la maduración y con abundante floración al inicio de la zafra, lo que la ubica como preferente para alimentar de materia prima a los ingenios azucareros al inicio del período de zafra, como consecuencia de la notable falta de variedades mexicanas de maduración temprana (Debernardi, 2004).

En la Huasteca Potosina, esta variedad es la de mayor superficie cosechada: Alianza Popular (15.12 %), Plan de Ayala (29.08 %), Plan de San Luis (14.8 %) y San Miguel del Naranjo (50.1 %).

Para establecer la relación entre la respuesta espectral de la caña y la calidad agroindustrial en la Huasteca Potosina, se establecieron sitios de muestreo (70 en total), seleccionados con base en los mapas de productividad cañera (Figura 2.63 al 2.65) para evaluar parámetros agroindustriales. El muestreo se efectuó en las fechas 27, 28, 29 y 30 de enero del 2010, al inicio y dentro del ciclo de zafra en la Huasteca Potosina, con base en su curva de madurez (Figura 2.85) y bajo el criterio de la presencia de la variedad CP 72-2086 (fácilmente identificable en la zona cañera de la Huasteca Potosina por tener floración abundante al momento de alcanzar la madurez). Estos sitios se asociaron con rasgos básicos de actividad cañera como terracerías, caminos, localidades rurales y corrientes de agua, dentro de las zonas de influencia de los ingenios San Miguel del Naranjo, Plan de San Luis, Plan de Ayala y Alianza Popular (Figura 2.87). La fecha de muestreo se eligió debido a las diferencias en las fechas de iniciación de la zafra 2008/2009 y 2009/2010 derivadas de las precipitaciones de los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2009, las cuales retrasaron la maduración de caña, lo que hizo suponer que se produciría más paja de lo necesario, lo que a su vez explicaría los bajos rendimientos de caña en la zona (Salgado, 2010).

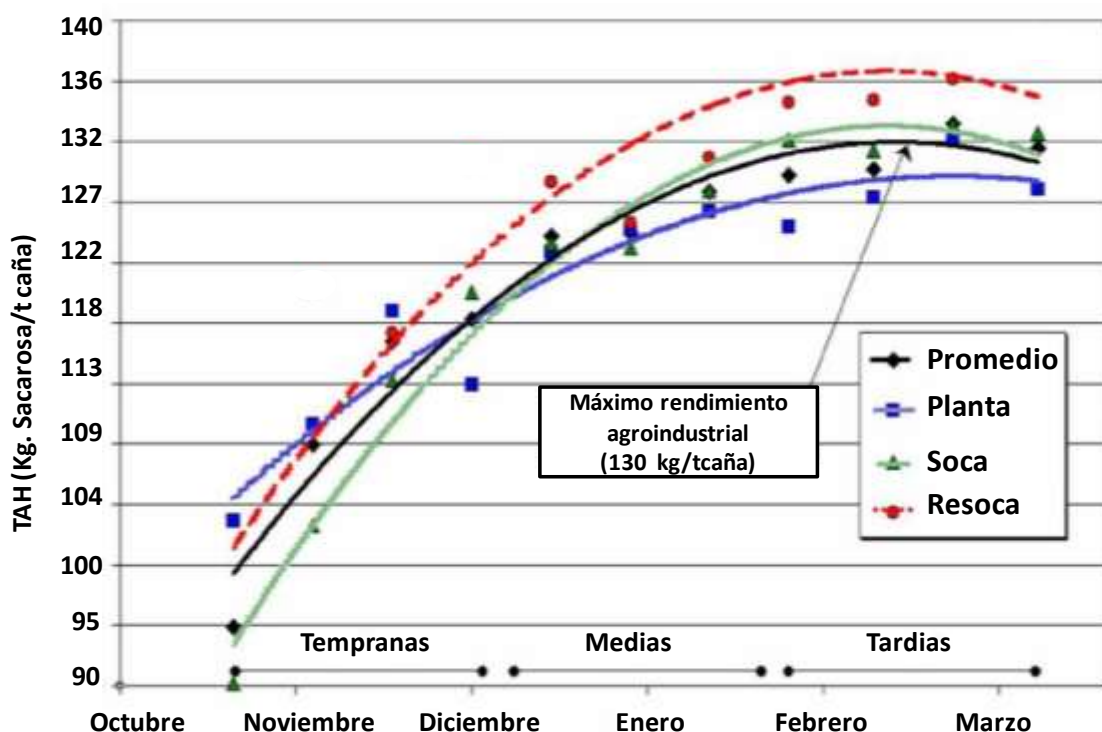


Figura 2.85. Curva de madurez de la variedad CP 72-2086 (Gilbert, 2008)

García (2001) y De Sousa (1993) concluyeron que para la determinación de la madurez de la caña de azúcar (la terminación botánica de un tallo adecuado para producir nuevas plantas) y el sazonado (detención del crecimiento con almacenamiento de la sacarosa en los tejidos, es decir, la culminación o perfeccionamiento de la madurez), debe llevarse a cabo, un muestreo de tallos molederos en sitios preestablecidos. Esto se puede hacer mediante el método del refractómetro de mano, debido a que se ha encontrado que existe una alta correlación entre el Brix promedio del tallo y la concentración de sacarosa. Para Larrahondo (1995) el Brix determinado con el refractómetro manual es el método más confiable para calcular la maduración de las cañas. La concentración de los sólidos totales (Brix) en el tallo va variando a medida que la caña cumple su ciclo vegetativo. Cuando la caña se encuentra en el período de crecimiento, la concentración de azúcares es mayor en los tejidos viejos y muy baja en los tejidos jóvenes; a medida que la caña va madurando, los azúcares se van almacenando en el tallo moledero superior e inferior hasta que su concentración se vuelve uniforme.

El mismo autor, expone que el método del refractómetro de mano parte del principio que las cañas, para ser cosechadas, deben estar maduras, por lo cual, en este método, el Coeficiente de Maduración (CM) constituye el único elemento para valorar la maduración. En ese orden de ideas, la maduración de un campo de caña de acuerdo con el resultado obtenido del CM, puede interpretarse de la siguiente manera:

Condición de la caña	CM
Madura	0,95 - 1,00
Inmadura	< de 0,95
Sobremadura o invertida	> de 1,00

- a) Si el CM es igual o se encuentra comprendido entre los valores 0,95 y 1,00, la caña está madura y debe cosecharse
- b) Sí la caña es catalogada como inmadura (CM < de 0,95), debe ser retardada la cosecha hasta que alcance el punto óptimo de madurez, por lo cual se hace necesario repetir las pruebas hasta detectar la condición de madura.
- c) Cuando el valor del índice de madurez es mayor que 1 comienza el proceso de inversión de la sacarosa, la cual se transforma en levulosa y dextrosa (azúcares reductores), lo que baja la calidad de los jugos.

Se establecieron puntos de muestreo, previamente identificados en el mapa de productividad y posteriormente georeferenciados en campo con la ayuda del equipo GPS Garmin modelo GPSmap 60CSx con error de posicionamiento de 5 metros (Figura 2.86 y 2.87). Las evaluaciones que se realizaron, se llevaron a cabo mediante el método de muestreo de ficha cinco de domino, cinco de oros o bandera inglesa; se consideró la distribución espacial en el campo de acuerdo con la metodología de Larrahondo (1995) y la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA, 2005). En cada unidad experimental o predio se tomaron 10 cañas al azar

directamente en la cepa (dos plantas por punto al azar en cada esquina y centro del campo con un total de 10 plantas por unidad experimental); se cortó la caña desde la base y se separó por componente (tallo moledero, punta o flor y hojas), para determinar: altura de planta (m), longitud de tallos (m), longitud del entrenudo (cm) diámetro del tallo (mm) y azúcares totales. El número de entrenudos se registró antes del corte.

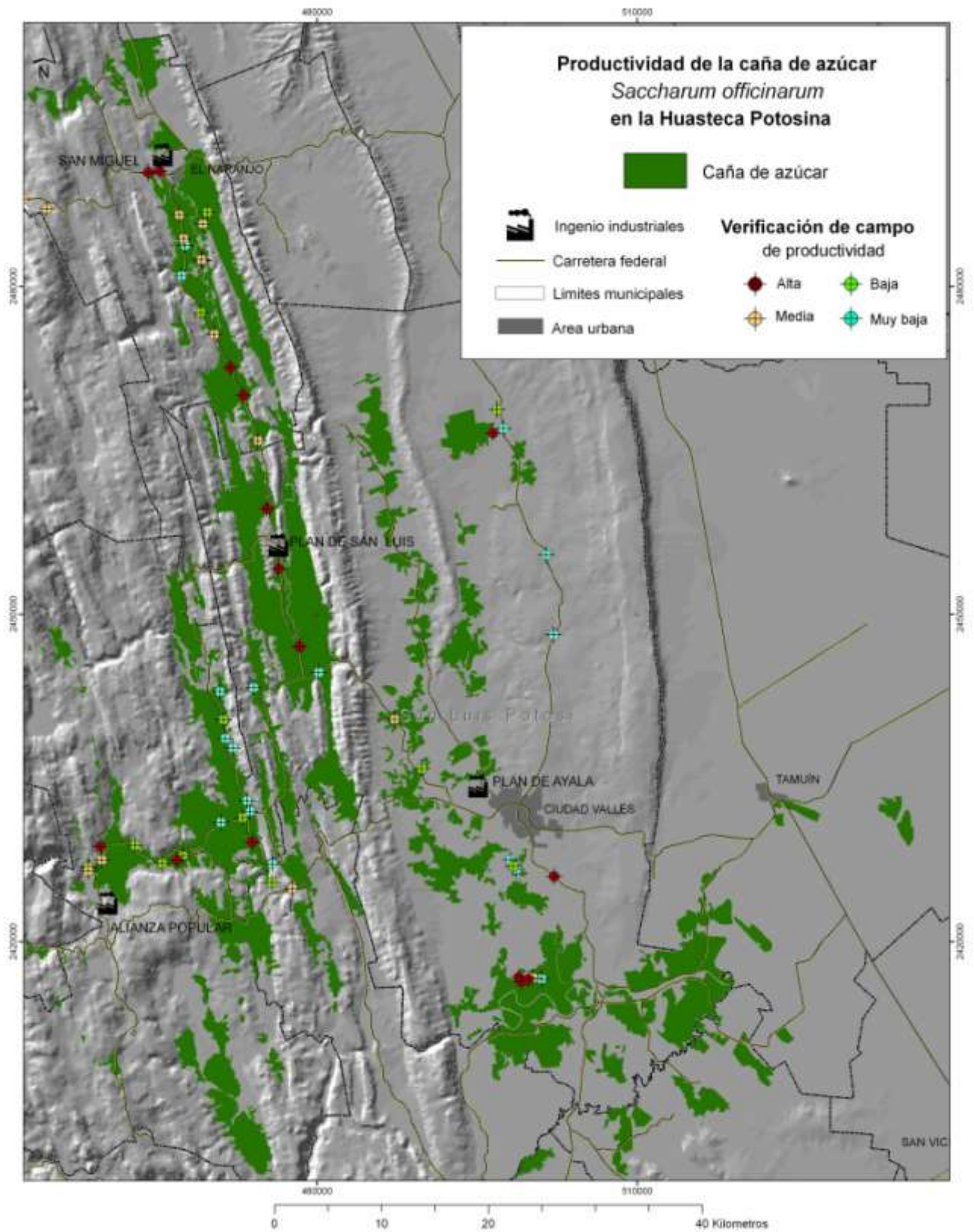


Figura 2.86. Puntos de muestreo en la zona cañera de la Huasteca Potosina

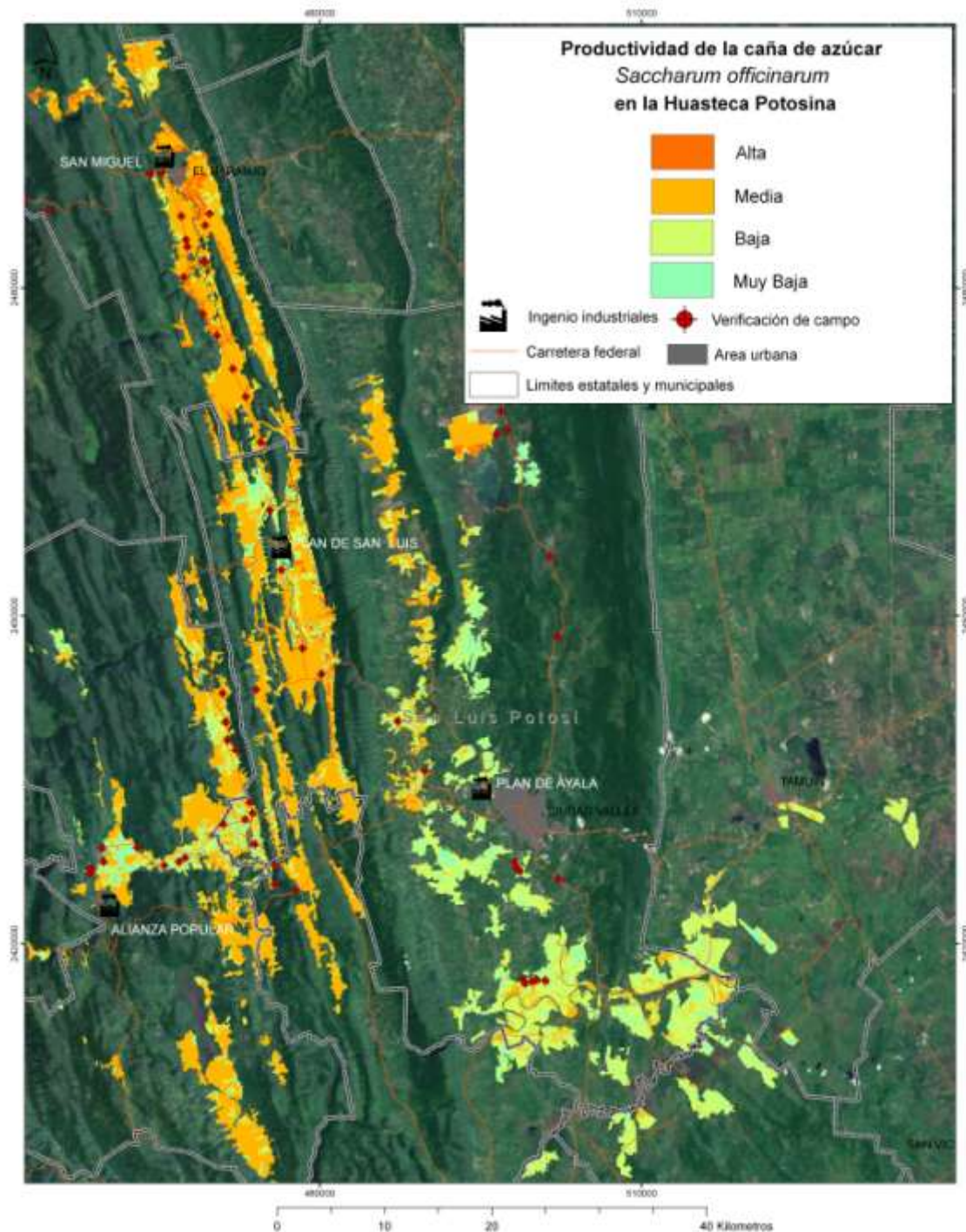


Figura 2.87. Puntos de muestreo en la zona cañera de la Huasteca Potosina por nivel de productividad

Para medir los sólidos totales o azúcares (grados Brix) presentes en el jugo de la caña, se picaron los tallos por la parte media con un punzón para extraer el jugo; una gota tomada inmediatamente después del corte, fue depositada sobre el refractómetro digital de mano, marca Atago modelo PAL-1 con graduaciones de 0 a 53% y precisión de 0.1

% derivada del cuarto entrenudo hacia arriba de la base del tallo y en el cuarto entrenudo hacia abajo de la parte apical del tallo de acuerdo con Rincón (2005) y Larrahondo (1995) (Figura 2.88). Este valor es un indicativo de la madurez de la caña debido a que la concentración de sacarosa comienza desde la base hacia el ápice en la planta de caña. El índice de madurez se obtuvo mediante la relación entre los grados Brix de la parte apical con los grados Brix de la base del tallo. En el Cuadro 2.45 se presentan los resultados obtenidos de las características propias del tallo y de toda la planta por zona productora



Figura 2.88. Evaluación de Características agroindustriales de la zona cañera de la Huasteca Potosina

Cuadro 2.45. Características productivas de la variedad CP 72-2086 en la zona cañera de la Huasteca Potosina

Zona productora	Brix inferior	Brix superior	Índice de madurez	Altura de la planta (m)	Longitud del tallo (m)	Longitud entrenudo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Numero de nudos
Alta	22.25	21.2	0.98	>3.0	2.75	17-20	>12	14-15
Media	20.5	20.8	1.02	2.5	1.98	13-15	9-11	12-13
Baja	21.1	20.6	0.98	1.95	1.80	10-12	7-9	13-17
Muy baja	21	20.5	0.97	<1.80	1.60	7.5-10	<7.5	12-16

Los datos obtenidos directamente en campo, presentaron un índice de madurez cercano a 1 para toda la zona cañera; por consiguiente, la caña presentó madurez uniforme y se encontró en condiciones óptimas para la cosecha. Igualmente correlacionó positivamente con los datos espectrales previamente obtenidos, pues se encontró que las cañas de la zona catalogada en el análisis espectral como de alta y media productividad (El Naranjo, Sur de Tamasopo, Damián Carmona y Norte de Cd. Valles) presentaron características físicas sobresalientes como mayor porte, entrenudos largos y mayor diámetro; caso contrario a las zonas de baja y muy baja productividad (Tamasopo y Cd. Valles) que tuvieron indicadores de cañas menos favorables, como porte bajo, delgadas y con diámetro menor (Figuras 2.89 al 2.92).



Figura 2.89. Características agroindustriales de la zona cañera de la Huasteca Potosina



Figura 2.90. Características agroindustriales de cañas quedadas en la zona cañera de la Huasteca Potosina

Cuadro. 2.46. Características agroindustriales de cañas quedadas en la zona cañera de la Huasteca Potosina

Zona productora	Brix inferior	Brix superior	Índice de madurez	Altura de la planta (m)	Longitud del tallo (m)	Longitud entrenudo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Numero de nudos
Alta	17	19	1.11	>2.75	2.5	12	13.5	18-20
Media	17	19	1.11	2.5	2.0	9.5	14	16-18
Baja	18	19	1.05	1.90	1.80	9.5	13	16-18
Muy baja	19	20	1.06	1.80	1.65	7.5	12.5	18-20

Cuadro 2.47. Características productivas de cañas de bajo desarrollo en la zafra 2008/2009 en la zona cañera de la Huasteca Potosina

Brix inferior	Brix superior	Índice de madurez	Altura de la planta (m)	Longitud del tallo (m)	Longitud entrenudo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Numero de nudos
16	17	1.063	1.80	1.60	8.5	13	19



Figura 2.91. Caña de azúcar de bajo porte en la zona cañera de la Huasteca Potosina



Figura 2.92. Calidad de caña de azúcar de bajo porte en la zona cañera de la Huasteca Potosina

En este sentido, las medidas de los distintos componentes de la planta discriminaron los niveles de productividad. Bajo condiciones climáticas ideales (zona cañera de media a alta productividad), Fauconier, (1975) concluyó que la caña de azúcar crece rápidamente, produciendo entrenudos relativamente grandes y gruesos, lo que indudablemente influirá en la cantidad de biomasa producida por unidad de superficie; así, pues a mayor producción total, mayor será el azúcar disponible para la fábrica. Cuando existe una deficiencia de los factores climáticos, edáficos o de manejo, relacionados con la productividad, el crecimiento de la caña de azúcar se torna más lento y los entrenudos más cortos y delgados (zona cañera de baja y muy baja productividad); es decir, su calidad y características agroindustriales se ven afectadas principalmente por factores tales como edad de corte, número de corte, porcentaje de floración, número de riegos, despoblación de cepas, precipitación y contenido de materia extraña en el momento de la cosecha. Si se toma en cuenta que estas son las zonas cañeras con mayor importancia desde el punto de vista económico en la Huasteca Potosina, deberían considerarse como posibles seleccionadas para llevar a cabo cambios significativos en las prácticas de manejo, para incrementar su productividad primaria neta, aun cuando su capacidad de producción de azúcar no sea la mejor.

2.15. Conclusiones

El estudio mostró la capacidad de las imágenes Landsat 7 +ETM, principalmente en las bandas espectrales TM3 y TM4, y SPOT 5 pues permitió observar detalles que difícilmente se pueden identificar en campo sin una inversión considerable de recursos y tiempo, al presentar la localización, distribución y para discriminar y diferenciar cuantitativamente los niveles de productividad en caña de azúcar mediante el análisis de los valores de vigor vegetal, en las diferentes áreas con cañaverales y la gran dependencia entre el índice NDVI y la climatología de la zona.

Dentro del mapa resultante, derivado de las metodologías empleadas, se puede distinguir claramente las zonas con una alta probabilidad de obtener buenos resultados agroindustriales debido a sus características edáficas y climáticas, ya que permite una visión amplia y panorámica de las posibilidades de manejo del cultivo.

No obstante, esta macrozonificación debe ser considerada como referencial para la planeación de actividades de manejo (variedades, riego, fertilización, mecanización, compactación de superficies etc) acotando la superficie sobre la cual se deben realizar estudios más intensivos, pudiendo ser replicada en otros escenarios y enriquecida a través de la inclusión de nuevos criterios y variables que se ajusten mejor a la realidad estudiada para generar otros productos todavía más específicos y precisos de forma espacial a nivel predios cañeros.

Si se tienen en cuenta la variabilidad de los factores productivos, tales como el ambiente donde se encuentra el cultivo, variedades, tipo de suelo, fertilidad, rendimientos históricos, etc., se puede hacer un manejo más eficiente del cultivo, permitiendo la aplicación de insumos de acuerdo a las necesidades y al potencial de los predios cañeros para eliminar problemas añejos (Minifundio, ciclo resaca, inadecuado balance varietal, fertilización inoportuna, Insuficiente frecuencia de riego o Irracional uso de agua de riego, deficiencia de drenaje, menor número de días de zafra, desuso de resiembra, bajo manejo y predicción de plagas, quema y requema, desuso de agroquímicos, inadecuada metodología para determinar madurez, daños a cepas durante cosecha y desuso de cosecha mecánica) así como el incremento del rendimiento de campo de áreas de mayor productividad (por arriba de 70 ton.caña/ha), (Renovación varietal, manejo de plagas, agricultura de precisión, etc.), diversificación de áreas de medio a bajo rendimiento con cultivos alternos y otras empresas derivadas del uso integral de la caña y Reconversión de áreas cañeras de muy bajo rendimiento a otras actividades agropecuarias y en definitiva implementar la agricultura de precisión del cultivo de caña de azúcar en la Huasteca para el beneficio de 12,910 unidades productivas y 12,567 productores y sus dependientes económicos

2.16. Bibliografía

Abdel-Rahman, E. M., Ahmed F. B., van den Berg, M. and Way, M. J., 2010. Potential of spectroscopic data sets for sugarcane thrips (*Fulmekiola serrata* Kobus) damage detection. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 4199–4216.

Abdel-Rahman, E. M., Ahmed F. B. and van den Berg, M., 2010. Estimation of sugarcane leaf nitrogen concentration using in situ spectroscopy. International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation, 12S, S52–S57.

Abdel-Rahman E. M; F. B. Ahmed. 2008. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: a review of the literature International Journal of Remote Sensing, 1366-5901, 29(13): 3753 – 3767

Abdel-Rahman, E. M., van den Berg, M., Way, M. J. and Ahmed, F. B., 2009. Handheld spectrometry for estimating thrips (*Fulmekiola serrata*) incidence in sugarcane. Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IV-268–IV-271.

Abrantes Giannotti M. 2003. geotecnologias na análise de impactos sócioambientais: o caso da queima de cana-de-açúcar na região de piracicaba. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE 180 p.

Acuña A. J.L., R. Zulueta R. 1993. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el estado de Veracruz. GEPLACEA, Simposio nacional de capacitación y desarrollo tecnológico del campo cañero.

Adam Elhadi and Mutanga 2009. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. Wetlands Ecol Manage. En: http://uqu.edu.sa/files2/tiny_mce/plugins/filemanager/files/4280125/Multispectral%20and%20hyperspectra%20remote%20sensing.pdf

Adiku A. M. 2006. PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growth of spring barley Reichstein Ecological Modelling 190: 260–276

Aguarón, J.; Moreno-Jiménez, J. M.. 2003. The Geometric Consistency Index: Approximated Thresholds”. European Journal of Operational Research, 147(1): 137-145.

Aguilar R. N. 2010. La Caña de Azúcar y sus Derivados en la Huasteca San Luís Potosí México Diálogos Revista Electrónica de Historia 10(3):81-110

Aguilar.R. N., 2010. La Agroindustria de la Caña de Azúcar en “La Huasteca” San Luís Potosí México Revista Latinoamericana de Ciencias sociales Espacio-Tiempo. Año 3 (5):98-112

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? Revista Globalizacion competitividad y gobernabilidad Vol 3 No. 1 Enero-marzo

Allen R. G. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos por organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación fao estudio FAO riego y drenaje 56, Roma, 323 p.

Algara S. M. 2010. Propuesta metodológica para medir el impacto del fenómeno de la sequía en la huasteca potosina y propuesta general de manejo. Tesis Doctorado en ciencias ambientales UASLP 168 p.

Alesheikh A. A., Ghorbanali A., Nouri N. 2007. Coastline change detection using remote sensing. Int. J. Environ. Sci. Tech., 4 (1): 61-66,. IRSEN, CEERS, IAU

Almeida Silva M; R. A. Bremm Soares. 2008. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress Bragantia, Campinas, 67(3):655-661.

- Almeida, T. I. R., De Souza, C. R., Rossetto, R. 2006. ASTER and Landsat ETM+ images applied to sugarcane yield forecast. *International Journal of Remote Sensing*, 27(19), 4057–4069.
- Amaral S, C., B. Costa, C. D. Rennó. 2007. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) improving species distribution models: an example with the neotropical genus *Coccocypselum* (Rubiaceae) En: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2275-2282.
- Andrade, R. G. 2008. Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar. 164 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- Armando Apan. 2004. Spectral discrimination and classification of sugarcane varieties using EO-1 Hyperion Hyperspectral Imagery <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2004/Papers/HSS04-1.htm>
- Armida-Alcudia L., D. Espinosa, J. Palma. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana* 23(4): 545-551
- ASERCA 2004. Plan Rector del sistema producto caña de azúcar en San Luís Potosí. En: *Claridades Agropecuarias: La Caña de Azúcar*. No. 127, México
- Astier C., M., M. Mass M. y J. Etchevers B. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36: 605-620.
- Ahumada M.R. 2009. Diagnostico agro-industrial de la caña de azúcar en México. *Memorias XXXII Convención de la asociación de técnicos azucareros de México*. Cordoba Ver. 27-28 agosto 2009
- Apan, A., Held, A., Phinn, S. y Markley J. 2004. 'Spectral discrimination and classification of sugarcane varieties using EO-1 Hyperion hypespectral imagery'. En *Proceedings of the 25th Asian Conference on Remote Sensing*, 22-26 Noviembre 2004, Chaing Mai, Thailand. http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2004/hyper/acrs2004_a1001.asp
- Arreola-Enriquez, J ;Palma-López, D. J.;Salgado-García 2004. Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar *TERRA Latinoamericana*. 22(3):351-357
- Asner P.G 1998. Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. *Remote Sens. Environ.* 64:234–253
- Ayala-Silva, T; Beyl, C A. 2005. Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency. *Advances in Space Research* 35: 305-317
- Baranoski V. G 2000. *Simulation of Light Interaction with Plants Computer Graphics International* 88 p.
- Barredo Cano, J. 1996. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio*. Editorial RA-MA. Madrid, España. 264 p.
- Baret F., Vern C. Vanderbilt, D. Steven, and S. Jacquemoud 1994. Use of Spectral Analogy To Evaluate Canopy Reflectance Sensitivity to Leaf Optical Properties *Remote Sens. Environ.* 48:253-260.
- Bautista Z. F, H. Rivas S., C. Durán de Bazúa, G. Palacio. 1998. Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México. *Investigaciones geográficas* 36, 21-33
- Bappel E., A. Bégué, P. Degenne, V. Lebourgeois, and B. Siegmund. 2005. Real-time sugarcane harvest monitoring using spot 4&5 satellite data. *International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), XXV Congress*, Jan. 30- Feb. 4 2005, Guatemala.

- Baranoski V. G. and J. G. Rokne. 1997. An Algorithmic Reflectance and Transmittance Model for Plant Tissue Applied Optics, 35(33):6585–6598
- Barredo Cano, J.I. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación multicriterio en la Ordenación del Territorio. Edit Ra-ma. Madrid.
- Barbieri, V. 1993. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*); um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba
- Bassols B.A. 1977. Las huastecas en el desarrollo regional de México, México, Editorial Trillas
- Begue A., P. Todoroff, J. Pater 2008. Multi-time scale analysis of sugarcane within-field variability: improved crop diagnosis using satellite time series? Precision Agric 9:161–171.
- Bégué, A., Degenne, P., Pellegrino, A., Todoroff, P., & Baillarin, F. 2004. Application of remote sensing technology to monitor sugar cane cutting and planting in Guadeloupe (French West Indies). Geomatica La Habana, Cuba.
- Bezuidenhout, C. N. and Singels, A., 2007a. Operational forecasting of South African sugarcane production: part 1 system description. Agricultural Systems, 92, 23–38.
- Benefetti, R.; P. Rossini. 1993. On the Use of NDVI Profiles as a Tool for Agricultural Statistics: The case Study of Wheat Yield Estimates and Forecast in Emilia Romagna. Remote Sensing of the Environment. 45:311-326 pp.
- Benvenuti, F. A. 2005. Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola 120 p.
- Berumen, S. A, Llamazares R. 2007. Usefulness of multiple criteria decision methods (such as AHP) in an environment with growing competitiveness. Cuad. Adm., 20(34):65-87
- Blackburn GA, Ferwerda, JG (2008) Retrieval of chlorophyll concentration from leaf reflectance spectra using wavelet analysis. Remote Sensing of Environment 112:1614–1632
- Breglio Pontes P. J. Vieira Rocha. 2005. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. . Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 217-224.
- Bowker D. E and E. Davis 1985. Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Branch Publication 1139. 188 p.
- Bongiovanni R. L. Vicini 2008. Agricultura de Precisión en Caña de Azúcar, IDIA XXI Cultivos industriales VIII (10): 82-89
- Bonilla A. R. Rosales, J. Maldonado, 2003. El valor económico de la predicción del fenómeno el niño oscilación del sur ENOS para el sector azucarero colombiano, Documentos CEDE 002565, Universidad de los Andes-CEDE. Revista Desarrollo y sociedad 52: 1-39.
- Borisova T. 2009. Economic Approach to Valuing Information with Applications to Climate Information Food and Resource Economics Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL. Published June.

- Boyer M, J. Miller, M. Belanger and Jiyou Wu 1988. Senescence and spectral reflectance in leaves of northern pin oak (*Quercus palustris* Muenchh.) *Remote Sensing of Environment*. 25(1):71-87
- Brizuela A. P. 2007. Establecimiento de índices espectrales en el diagnóstico nutrimental de nitrógeno en maíz. *Agrociencia* 41: 827-835.
- Brogea N.H, J.V. Mortensenb 2002. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote Sensing of Environment* 81: 45– 57
- Brunini A. 2010. Agroclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico—a preliminary study considering climate change scenarios. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 27.
- Carbonell Gonzalez J. C A Osorio, E. Bastidas, P. J Murillo, 2007. Discrimination of sugarcane varieties CC85-92 and CC84-75 using Landsat 7ETM+ satellite imagery. XXVI Congress ISCCT 26 Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, International Society Of Sugarcane Technologists , p.177 - 180
- Carter G. A. And K. Knapp. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany* 88(4): 677–684.
- Cássia de Ávila Ribeiro 2009. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil *Revista Brasileira de Geociências* 39(3): 507-518
- Castellanos Abella E. A. C. J. Van Westen. 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides* 4:311–325
- Castro O.R. 2010. La variabilidad de la radiación solar en la superficie terrestre y sus efectos en la producción de caña de azúcar en Guatemala. *Memorias del XVIII Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica El Salvador*, 5-8 julio En: <http://www.atasal.org/wp-content/uploads/2010/07/Variabilidad-Solar-y-su-Efecto-en-la-Ca%C3%B1a-de-Az%C3%BAcar-en-Guatemala.-O-Castro.-CENGICA%C3%91A.-Guatemala.1.doc>
- Cavalli A.C. F. Lombardi N. 2000. Use of AVHRR/NOAA-14 multi-temporal data to evaluate soil degradation- *Acta Scientiarum* 22(4):1037-1043
- CENGICAÑA. 2004. Avances del proyecto de zonificación agroecológica en la zona cañera de Guatemala. *Memoria de Presentación de resultados de investigación. Zafra 2003-2004*. Guatemala. 208 p.
- CENICANA 1995. Análisis de la productividad en la agroindustria azucarera de Colombia y perspectivas para aumentarla. En: *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali*, pp.373-394.
- Clark SJ, Schrock MD, Young SC (1987) *Agricultural engineering research for Agriculture 2000*. ASAE paper 87-2016. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA.
- Censo Agropecuario, 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- CNPR 2010. Estadísticas de la agroindustria. Confederación nacional de productores cañeros propietarios A.C. , En: <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.htm>
- Chwen-Ming Yang And Ching-Huan Cheng. 2001. Spectral Characteristics of Rice Plants Infested by Brown Planthoppers. *Proc. Natl. Sci. Coun.* 25(3):180-186
- COAAZUCAR 2008. Estadísticas de la agroindustria azucarera. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/COAAZUCAR.htm>

- Cordon B.G. ., 2007. Absorption and Scattering Coefficients: A Biophysical-Chemistry Experiment Using Reflectance Spectroscopy *J. Chem. Educ.*, 84 (7):1167
- Coomans, D.H., 2003. Using southern oscillation index phases to forecast sugarcane yields: A case study for northeastern Australia, *International Journal of Climatology*, 23: 1211-1218.
- Chandra P., I.S. Singh and S.B. Singh. 2005. Biochemical Changes During Flowering of Sugarcane. *Sugartech* 7(4): 160-162
- Chávez M. 1999. Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos 1999, Pp.193-214
- Cobbing, B.L.2006 The Use of Landsat ETM Imagery as a Suitable Data Capture Source for Alien Acacia Species for the WFW Program. Unpublished Masters Thesis. Rhodes University.
- Chavarría, H.; Rojas, P. y Sepúlveda, S. 2002. Competitividad: cadenas agroalimentarias y territorios rurales. Elementos conceptuales. San José, Costa Rica. IICA. 380 p.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Ediciones RIALP 568 p.
- Colombo R. 2003. Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment* 86: 120–131
- Curran P.J. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies *Remote Sensing of Environment* 76(3):349-359
- Curran P. 1990.Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine *J Tree Physiology* 7:33-48.
- Daamen M. L. J., J. V. Rocha, R.A.C. Lamparelli, J.Zullo. 2002. Mapeamento da variabilidade espacial da produção da cultura de cana-de-açúcar por meio de processamento digital de imagens de satélite e análise de componentes principais. 20 Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão. Viçosa, MG, 12 a 14 de junho de 2002. <http://www.centreinar.org.br/siap2007/siap2002/artigos/siap018.pdf>
- Da Silva F. 2001. Levantamento de modelos matemáticos descritos para a cultura da cana-de-açúcar. *Rev. biociênc.,Taubaté*, 7(1):-14-20.
- Da Silva Marques, J. R., & Alexandre, C. 2005. Spatial variability of irrigated corn yield in relation to field topography and soil chemical characteristics. *Precision Agriculture*, 6(5): 453–466.
- Daughtry, C. S. T., V. C. Vanderbilt, and V. J. Pollard. 1982. Variability of reflectance measurements with sensor altitude and canopy type. *Agron. J.* 71: 744-751.
- Datt B. 1998. Remote Sensing of Chlorophyll a, Chlorophyll b, Chlorophyll a+b, and Total Carotenoid Content in Eucalyptus Leaves. *Remote Sens. Environ.* 66:111–121
- Dadhwal V.K., R.P. Singh, S.Dutta & J.S. Parihar 2002. Remote sensing based crop inventory: A review of Indian experience *Tropical Ecology* 43(1):107-122,
- Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown, E., and McMurtrey, J. E. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing Environment* 74, 229-239.
- Debernardi M. L. efecto de la floración en la calidad agroindustrial de la variedad de caña de azúcar CP72-2086 en Mexico *Caña de Azúcar* 22(2):19-37.

- De Bie C.A., Mobushir R.Khan, A.G.Toxopeus, V.Venus, A.K.Skidmore. 2008. hypertemporal image analysis for crop mapping and change detection. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, p.803-814
- Dedios N. J. M. 2009. Spatial Analysis of phenological behavior of vegetation in the Chira River using high spectral resolution images Revista Peruana Geo-atmosférica 1:20-34.
- Delegido, J. L. Alonso, M. P. Cendrero, A. Forner y J. Moreno. 2009. Aplicación de la teledetección hiperespectral a la estimación del contenido en clorofila de las plantas. En: <http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal13.pdf>
- De Lira, V.; Barbosa da Silva, B.; Dantas Neto, J.; Sobral de Farias, M. S.; Cândido Bezerra, M. V.; Soares Franco, E. y Centeno, C. R. M. 2009. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. Engenharia Ambiental 6(1):113-120.
- De Souza Rolim G. 2008. Validation of the deardorff model for estimating energy balance components for a sugarcane crop. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), 658(4):325-334, July/August 2008
- De Sousa V., Rea S. 1993. Correlación entre los componentes de rendimiento y calidad en cinco cultivares híbridos de caña de azúcar. Caña de Azúcar, 11(01): 45-52.
- Díaz S. J., 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, 41:62-80
- Dillewijn, C. Van. 1978. Botánica de la caña de azúcar. Edit. Rev. I.C.L. La Habana. 460p.
- Domingues Carlin S. 2008. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. Bragantia, Campinas.67(4):845-853
- Doraiswamy P. C. y Cook P. W. 1995. Spring wheat yield assessment using NOAA AVHRR data. Canadian Journal of Remote Sensing. 21:43– 51.
- Dorigo W.A. R.Zurita-Milla, M.E. Schaepman. 2007. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 9: 165–193
- Doorenbos J. y A. Kassan. 1979. Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. No. 33. FAO. Roma, Italia.
- Dos Santos A.C., J. L. Souza, I. Teodoro. 2008. Vegetative development and production of sugarcane varieties as a function of water availability and thermic units. Ciênc. agrotec., Lavras, 32(5): 1441-1448,
- El Hajj Mahmoud. 2009. Integrating SPOT-5 time series, crop growth modeling and expert knowledge for monitoring agricultural practices. The case of sugarcane harvest on Reunion Island. Remote Sensing of Environment 113(10): 2052-2061
- El Hajj M., A. Bégué, B. Lafrance, O. Hagolle, G. Dedieu and M. Rumeau. 2008. Relative Radiometric Normalization and Atmospheric Correction of a SPOT 5 Time Series Sensors, 8: 2774-2791
- El Hajj Mahmoud 2009. Complementary source information cooperation within a decision system for crop monitoring Proceedings of the joint IFSA-EUSFLAT, International Fuzzy Systems Association World Congress and European Society of Fuzzy Logic and Technology Conference, Lisbonne : Portugal

- Elmorea, A. J.; Xun Shib, N. J.; Gorenceb, Xia Lic; Haiming Jind, F.; Wangc y Xiaohao Zhange. 2008. Spatial distribution of agricultural residue from rice for potential biofuel production in China. *Biomass and Bioenergy* 32(1): 22–27.
- Elwadie E. 2005. Remote Sensing of Canopy Dynamics and Biophysical Variables Estimation of Corn in Michigan Agron. J. 97:99–105.
- Epiphanyo, J. C. N.; Gleriani, J. M.; Formaggio, A. R. Rudorff, B. F. Theodor. 1996. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*. 31(6): 445-454
- España Boquera M. 2006. Estimación del estado nitrogenado de plantas de fresa a partir de su respuesta espectral. *Fitotecnia mexicana* 29(4): 349-356.
- Everingham, Y.L., Muchow, R.C., Stone, R.C., 1998. ENSO, the South African climate and sugarcane production. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 72:10-14.
- FAO. 2009. Sugarcane, water relations and water management of sugarcane En: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>
- FAO 2006. Crop Water Management for Sugarcane. En: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>
- FAO 1996. Adaptación de la metodología de zonificación agroecológica de la FAO para aplicaciones a diferentes niveles de zonificación en países de América Latina y el Caribe. Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe Santiago – Chile, Octubre 1996
- Falconi F., Burbano R. 2004. Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 1:11-20
- Farias, P. R. S.; Nociti, L. A. S.; Barbosa, J. C.; Perecin, 2003. D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geostatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(2):235-241
- Farias C. H. 2008. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.12(4):356–362.
- Fauconnier, R; Bassereau, D. 1975. La caña de azúcar. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blume. Barcelona, España. 405 p.
- Feng, W; Yao, X; Zhu, Y; Tian, Y C; Cao,WX. (2008). Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat. *Europ. J. Agronomy* 28:394 404
- Fonseca J. L.,L. Tijerina C. 2007. Determinación de zonas agroclimáticas para la producción de mango (*Mangifera indica* L. “Manila”) en Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 63:17-35
- Fogliata, F. A. 1995. Agronomía de la caña de Azúcar. Vol 2. El Graduado. ISBN 950-9414-52-2, 1451 p. Tucumán, Argentina
- Frasson, R. F. 2007. Comportamento temporal do NDVI mensurado com sensor óptico ativo para diferentes variedades de cana de acucar. *BioEng. Campinas* 1(3):237-244.

Freitas, A.; Marins, C.; Souza, D. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. *Revista GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas*.2(3):52-60.

Fourty, Th., F. Baret, S. Jacquemoud, G. Schmuck, and J. Verdebout. 1996. Leaf Optical Properties with Explicit Description of Its Biochemical Composition: Direct and Inverse Problems. *Remote Sens. Environ.* 56:104-117

Galdámez G. J. 2007. Manejo sostenible de suelos en la producción agrícola de la depresión central de Chiapas, México, 1 seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. sostenibilidad e indicadores. Almería, 16-17 octubre

Galdos M. V 2010. Simulation of sugarcane residue decomposition and aboveground growth *Plant Soil* 326:243–259

Galvao, L.S., A. R. Formaggio and D. A. Tisot. 2006. The influence of spectral resolution on discriminating Brazilian sugarcane varieties *International Journal of Remote Sensing*. 27(4):769–777

Galvão, L.S., A.R. Formaggio and D.A. Tisot. 2005. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. *Remote Sens. Environ.* 94: 523-534.

Galindo M. G., C. Contreras S. L. Olvera 2009. Metodología para determinar zonas de peligro al ataque de la langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker) apoyados en sensores de alta resolución y SIG. Estudio de caso la Huasteca Potosina-México . Conceptos de geomatica y estudios de caso en México. Compilado por Raul Aguirre Gomez UNAM-Ig serie libros de investigación No. 5, Mexico D.F.

Galindo M. G., L. Olvera. 2005. Inventario agropecuario en la Huasteca Potosina, construcción de cartografía básica y tematica para el reordenamiento de las actividades agropecuarias apoyados en PR y SIG. Memorias del III Congreso Internacional de ordenación del Territorio. Guadalajara Jalisco México.

García Chávez L.R. 2008. La agroindustria cañera de México “Libre comercio de edulcorantes” Universidad Autónoma Chapingo 30 p.

García Mora Tzitziki Janik 2006. Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* Núm. 67, 2008, pp. 7-19

Gers, C., & Schmidt, E. 2001. Using SPOT4 satellite imagery to monitor area harvested by small scale sugarcane farmers at Umfolozi. 75th South African Sugar Technologists' Association (SASTA) (pp. 28–33).

Graeff, S., Claupein, W., 2003. Quantifying nitrogen status of corn (*Zea may* L.) in the field by reflectance measurements. *Eur. J. Agron.*, 19(4):611-618.

Gláucia de Mello, R. P. Bueno & Gener T. Pereira 2006. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.10(2):294–305,

Gilbert, R.A. J. M. Shine, Jr., J. D. Miller 2008 . Sucrose Accumulation Maturity Curves for CP 72-208. En: <http://edis.ifas.ufl.edu>.

Gilbert R.A. J.M. Shine. 2006. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA *Field Crops Research* 95:156–170

Gitelson A, Y. Gritz. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *J. Plant Physiol.* 160. 271–282.

Gomes Costa H, Ro Nunes Moll. 1999. emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar. 6(3):243-256.

Gómez D. M. Barredo C. J.I., 2006. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. 2da edición. Edit. Alfaomega Ra-Ma. ISBN 970-15-1154-9, Mexico 279 p.

Gonçalves E.2010. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 14(4):378–386.

Gonçalves, R. R. V. 2008. Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada nas imagens dos satélites AVHRR/NOAA, em São Paulo, e dados agroclimáticos, no período de 2001 a 2008. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 185p.

Govender M A 2007. Review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies *Water SA* 33 (2): 145-152

Govender M. PJ Dye. 2009. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress *Water SA* Vol. 35 No. 5

Greenland D. 2005. Climate Variability and Sugarcane Yield in Louisiana.. *Journal OF applied meteorology* 44:1655- 1666

Hatfield J. L, A. A. Gitelson, S. Schepers, and C. L. Walthall 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. *J. Agronomy Journal* 100:S-117–S-131.

Heuminski de Ávila A.M., Ribeiro do Valle Gonçalves, Silveira Pinto, Zullo Junior . 2009. Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 553-560.

Henríquez, C. R. Killorn, F. Bertsch y F. Sancho. 2005. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador Kriging. *Agronomía Costarricense* 29: 73-81.

Hoffer, R. M. 1978. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. (Ed.) *Remote sensing: the quantitative approach.* New York: McGraw-Hill.

Hunsigi G. 2001. Sugarcane in Agriculture and industry. Eastern Press Pvt Ltd., Bangalore India 491 p.

Huang W., Ming-Huang H, and Chi-Ming Yang. 2005. Mimicking Satellite Remote Sensing of Chlorophyll Content in Sugarcane (*Saccharum officinarum*) Leaves. *Crop, Environment & Bioinformatics* 2: 137-147.

Huber S. 2008. Estimating foliar biochemistry from hyperspectral data in mixed forest canopy. *Forest Ecology and Management* 256:491–501

Humbert, R. P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Edit. CECOSA. México D.F. 719 p.

James G. 2004. Sugarcane. Second edition Blackwell Science Ltd, Oxford UK, 216 p.

Imanishi, J; Sugimoto, K; Morimoto, Y. 2004. Detecting drought status and LAI of two *Quercus* species canopies using derivative spectra. *Computers and Electronics in Agriculture* 43:109-129

INIFAP, 2005. Potencial Productivo Agrícola De La Región Costa Norte De Jalisco. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Libro Técnico Núm. 4, 225 p.

Inoue Y. 2008. Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO₂ flux measurements in rice. *Remote Sensing of Environment* 112:156–172

Inman-Bamber N.G. and Smith D.M., 2005. Water relations in sugarcane and response to waters déficits. *Fields Crops Research*, 92, 185-202 pp.

Inman-Bamber N.G. T. L. Culverwell and M.G. McGlinchey. 1993. Predicting yield responses to irrigation of sugarcane from a growth model and field records. *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association - June 199*. Pp 66-72

Jacquemoud, S. L. Ustin. 2001 Leaf optical properties: A state of the art Physical measurements & signatures in remote sensing. *International symposium N°8, Aussois, France (08/01/2001)*, pp. 223-232.

Jacquemoud S 2009. PROSPECT+SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment* 113: S56–S66

Jensen J. R. 2005. Remote Sensing Agricultural Crop Type for Sustainable Development in South Africa. *Geocarto International*, 21(2):5-18

Ji-hua, M. and Bing-fang, W. 2008. Study on the crop condition monitoring methods with remote sensing. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/10_WG-VIII-10/05.pdf

Jiménez C. A., V. Vargas T., W. E. Salinas C., M. Aguirre B., D. Rodríguez C. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 53:58-74

Joaquim, A. 1998. Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara - SP, através de análise de nível de cinza em imagens Landsat/TM. 96p. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas,*

Johnson R. M, R. P. Viator, J. C. Veremis, P. Richard, and V. Zimba. 2008. Discrimination of sugarcane varieties with pigment profiles and high resolution, hyperspectral leaf reflectance data. *Journal Association Sugar Cane Technologists*: 28: 63-75.

Johnson, A.K.L. y Kindsey-Anderson, A.E. 1997. 'Satellite-based remote sensing for monitoring land use in the sugar industry'. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology*, 19: 237-245.

Ju, J., Gopal, S. & Kolaczyk, E.D. 2005 On the Choice of Spatial and Categorical Scale in Remote Sensing Land Cover Classification. *Remote sensing of Environment*, 96:62–77

Keating B.A 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation *Europ. J. Agronomy* 18:267-288

Kridsakron Auynirundronkool, Kampanat Deeudomchan, and Amornchai Prakobya, Varinthon Jarnkoon, Manuwat Tintarasara na ratchasema and Mayura Seechan 2008. Analysis of Economic Crop Reflectance by Field Spectral Signature: Case Study Sugarcane En: <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2008/Papers/TS%2013.6.pdf>

Knipling E. B 1970. Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. *Remote Sensing of Environment* 1 (1): 55-1 59

- Kirchner L, Lee-Lovick G (1991) The use of Landsat TM data for the assessment and monitoring of sugarcane. *Remote Sensing* , 1087-1095.
- Kropff M. 1997. Intensive sugar cane production. *Proceedings of sugar symposium*. CAB International Wallingford UK.
- Khunel, I. 1994. Relationship between the Southern Oscillation Index and Australian sugarcane yields. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45, 1557–1568.
- Koetz B., F. Baret, J. Hill 2005. Use of coupled canopy structure dynamic and radiative transfer models to estimate biophysical canopy characteristics. *Remote Sensing of Environment* 95: 115– 124
- Krishna Rao PV, Venkateswara I and Venkateswara Rao V 1999. Remote sensing approach for acreage estimation of sugarcane crop in part of Krishna district Andhra Pradesh. *Proc STAI* 61: 79-87.
- Kumar R. and L. Silva 1973. Reflectance Model of a Plant Leaf. <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=larstech>
- Kumar L., Schmidt K.S., Dury S. and Skidmore A.K. 2001. Imaging spectrometry and vegetation science. In *Imaging Spectrometry*, eds F. van der Meer and S.M. de Jong, pp. 111–155. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kuang Ning S., Ni-Bin Chang,, Kai-Yu Jeng, Yi-Hsing Tseng 2006. Soil erosion and non-point source pollution impacts assessment with the aid of multi-temporal remote sensing images *Journal of Environmental Management* 79: 88–101
- Larrahondo J.E. 1995. Calidad de la caña de azúcar. En *El cultivo de caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali Colombia edit. CENICAÑA pp. 337-354.
- Lau Quan A. 2005. Estimación de la salinidad de los suelos utilizando una imagen espectrozonar y el sistema de información geográfica telemap. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(1):47-54
- Lee-Lovick, G. & Kirchner, L. 1990. The application of remotely sensed (Landsat TM) data to monitor the growth and predict yields in sugarcane. *Proc. Austr. Soc. Sug. Cane Technol.*, pp. 65-72
- Lisson S.N. N.G. Inman-Bamber B.A. Keating 2005. The historical and future contribution of crop physiology and modelling research to sugarcane production systems. *Field Crops Research* 92:321–335
- Lourenço, L. 2005. Relação entre atributos do solo e da planta e a resposta espectral da cultura de cana-de-açúcar / Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola 136 p.
- Lucas S. A. 2007. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11(6):607–614.
- Lu Weng, 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 28(5):823–870
- Lumsden TG 1998. Simulation of sugarcane yield at the scale of a mill supply area *Proc S Afr Sug Technol Ass*72:12-17
- Machado, H. R. 2007. Development of methodology to sampling in sugarcane considering biomass spectral response in orbital images. *Revista Brasileira de Cartografia*. 59(02): 115-126.
- Majeke B , J. van Aardt and MA Cho. 2008. Imaging spectroscopy of foliar biochemistry in forestry environments. *Southern Forests*, 70(3): 275–285

- Malczewski, J. 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making Int. J. Geographical Information Systems 10(8): 955-971
- Malenovsky Z. 2009. Scientific and technical challenges in remote sensing of plant canopy reflectance and fluorescence. Journal of Experimental Botany, 60(11):2987–3004
- Manual Azucarero Mexicano 2010. Editado por Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólera. Edición 53, 470 p.
- Manzo D. L., 2009. Analisis satelital multitemporal de vegetación.241-260. Conceptos de geomatica y estudios de caso en Mexico. Compilado por Raul Aguirre Gomez UNAM-Ig serie libros de investigación No. 5, Mexico
- Markham, B. L. and J. R. C. Townshend, 1981. Land Cover Classification Accuracy as a Function of Sensor /Spatial Resolution. Proceedings of the 15th International Symposium on remote Sensing of Environment, Ann Arbor, pp. 1075-1090.
- Markley, J., Raines, A. and Crossley, R., 2003, The development and integration of remote sensing, GIS and data processing tools for effective harvest management. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology, 25:5.
- Marini F. R.; G. L. Carvalho; E. D. Assad. 2009. Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no estado de são paulo entre as safras 1990/1991 a 2005/2006 XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG
- Marini F. R.; G. L. Carvalho; E. D. Assad. 2008.Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. PesquisaAgropecuária Brasileira, Brasília, 43:1449-1455.
- Maselli, F., C. Conese, L. Petkiv and R. Resti.1992. Inclusion of prior probabilities derived from a nonparametric process into the maximum likelihood classifier, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58:201-207.
- Medina G., G., Ruiz C., J. A., Martínez P., R. A. y Ortiz V., M. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. Agric. Téc. Méx. 23(1):69-90
- Mena C. Frau. 2006. modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial Rev. Fac. Ing. - Univ. Tarapacá, 14 (1):81-89
- Metternicht, G. 2003. Cartography of farm conditions using high resolution digital multispectral imagery. Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC) Durban, South Africa, 10 . 16 August 2003, 2363-2372
- Meyer A.1997. Review of near infra-red spectroscopy research in the South African sugar industry. Proc S Afr Sug Technol Ass (1997) 71: 33-37
- Merzlyak, 2008. Light absorption by anthocyanins in juvenile, stressed, and senescing leaves. Journal of Experimental Botany, 59(14):3903–3911
- Miceli G.F., 2002. Regulación enzimática de la acumulación de sacarosa en cañas de azúcar (Saccharum spp.). Agrociencia (36):4, 411-419.
- Monteiro de Abreu L. 2000. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, 4(2):257-262

Monteith, J.L. 1976. Spectral Distribution of Light in Leaves and Foliage. In: H. Smith (Ed.). Light and Plant Development. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd. London. pp. 447-461.

Moore P.H. 2009. Sugarcane Biology, Yield, and Potential for Improvement. Workshop BIOEN on Sugarcane Improvement 18 e 19 de março, São Paulo. En: <http://www.fapesp.br/materia/5064/bioen/workshop-bioen-on-sugarcane-improvement-18-e-19-3-2009-.htm>

Mosadeghi, R., Tomlinson, R., Mirfenderesk, H., Warnken, J., 2009. Coastal Management Issues in Queensland and application of the Multi-Criteria Decision Making technique en: http://www98.griffith.edu.au/dspace/bitstream/10072/29621/1/55945_1.pdf

Munda, G., 2006. A NIADE based approach for sustainability benchmarking. International Journal of Environment Technology and Management 6 (1-2):65-78.

Murillo S. P. J., Osorio M. C. 2009. Estimación temprana de producción de caña de azúcar a partir de imágenes satelitales MODIS. Técnicaña - VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar – 2009, 356-364 p.

Murillo, P.J. y Carbonell, J.A. 2009. Análisis preliminar para la identificación de variedades de caña de azúcar en áreas diferentes al valle del río Cauca, usando imágenes Alndsat 7 ETM+. VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, Técnicaña, 1: 32-38.

Murillo, P.J., Osorio, C.A., Carbonell, J.A. y Palma A.E. 2010. 'Monitoring sugarcane crops in the Cauca river valley (Colombia), using MODIS satellite images'. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technology, 27: 1-5.

Moore P.H., Marezki A. 1996. Sugarcane. In: Photoassimilate distribution in plants and crops. Sourcesink relationships. Ed. by E. Zamski, A.A. Schaffer, Marcel Deckker. Inc. p. 643-669.

Moran M. S, Y. Inoue, and E. M. Barnes 1997 Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management. Remote Sens. Environ. 61:319-346

Myneni R.B., Hoffman S., Knyazikhin Y., Privette J.L., Glassy J., Tian Y., Wang Y., Song X., Zhang Y., Smith G.R., Lotsch A., Friedl M., Morisette J.T., Votava P., Nemani R.R. y Running S.W. 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. Remote Sensing of Environment. 83:214-231.

Murillo, P.J., Carbonell, J.A., Osorio, C.A., y Bastidas, E. 2006. Clasificación de las variedades CC 85-92 y CC 84-75 usando imágenes satelitales Landsat 7 ETM+. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, Técnicaña, 2006, 1: 275-284.

Nagendra H. 2008. High resolution satellite imagery for tropical biodiversity studies: the devil is in the detail Biodivers Conserv 17:3431-3442

Narciso, G. and Schmidt, E. 1999. Identification and classification of sugarcane based on satellite remote sensing. Proc S Afr Sug Technol Ass 73: 189-194

Nascimento C. R., J. Zullo, B. A. Moura. 2009. Estimativa de produtividade da cana-de-açúcar utilizando séries temporais de imagens AVHRR/NOAA-17 e modelo fenológico-espectral Revista Brasileira de Ciências Agrárias 4(3):329-337.

Nieves B. M. 2011. http://www.conadesuca.gob.mx/info/Manual_corrida_sem_campo_22-10-10.pdf

NOM 2000. Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. NOM-021-REC/NAT-2000. 2ª ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 26 pp.

Oi Wah Liew, P. Ching 2008. Signature Optical Cues: Emerging Technologies for Monitoring Plant Health. *Sensors* 2008, 8, 3205-3239

O'Leary, G. J. 2000. A review of tree sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. *Field Crops Research*, 68: 97–111,.

O'Leary, G. J. 1999. Modeling sugarcane production systems i. development and performance of sugarcane module. *Field Crops Research*. 61: 253–271,.

Paré, L. (coord.), 1987. El estado, los cañeros y la industria azucarera, 1940-1980, UAM-A, UNAM. 295 p.

Parra U., G. 1989. Zonificación agroecológica para la producción de caña de azúcar en algunos estados de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México

Pérez Portilla E., D. Geissert Kientz. 2006. zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*coffea arabica* L.) - palma camedor (*chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia* agosto, año/vol. 31, número 008 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela pp. 556-562

Ortega A. diagnóstico de suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria Salta. En: <http://www.inta.gov.ar/salta/info/documentos/Suelos/DIAGNOSTICO%20SUELOS.pdf>

Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent, G., Agreil, M., Skoufas, G., Scourbes, L. & Tsirika, A. 2005. Use of SPOT 5 for mapping seagrasses: An application to *Posidonia oceanica*. *Remote Sensing of Environment*, 94: 39-45

Papalexandrou M. A., P. A. Pilavachi, A. I. Chatzimouratidis. 2007. Evaluation of liquid bio-fuels using the Analytic Hierarchy Process. *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6) Copenhagen, 16-20 September 2007*

Pathirana, S 1999. Distribution of errors in a classified map of satellite data. *Geocarto International*, 14(4):70-81

Pellegrino, G. Q. 2001. Utilização de dados espectrais do satélite NOAA14/AVHRR como fonte de dados para modelos matemáticos de estimativa da fitomassa da cana-de-açúcar.. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Pontes, P. P. B.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R.A.C. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. *Anais XII SBSR, Goiania, Brasil, Abril 2005. INPE*, p. 217-224.

Pereira Leite G.H. 2009. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. *Ciência Rural*, 39(3):726-732.

Pérez Z.A. 2007. Tenencia de la tierra e industria azucarera. Edit. Porrúa, México 214 p

Picoli, M. C. A. 2006. Estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais: Estudo de caso usina Catanduva / Michelle Cristina Araujo Picoli. – São José dos Campos: INPE, 90 p.

Pontes, P. P. B.; Rocha, J. V. e Camargo Lamparelli, R. A. 2005. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de açúcar. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, pp.217-224.

PRONAC- SAGARPA. 2007. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (México DF, SAGARPA).

Quintero Durán R. 2008. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. Pp. 18-25. En: http://www.tecnicana.org/pdf/2008/tec_v12_no20_2008_p18-26.pdf

Quintero J.A., M.I. Montoya, O.J. Sánchez, O.H. Giraldo and C.A. Cardona. 2010. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. *Energy* 33(3):385-399

Qureshi M.E. 2003. Application of the Analytic Hierarchy Process to Riparian Revegetation Policy Options En: http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:8658/n09_Ejaz.pdf

Rahman R.M. 1995. NDVI Derived Sugarcane Area Identification and Crop Condition Assessment. Dept. of Geography & Environmental Studies, University of Rajshahi Bangladesh, 11 pp.

Rincón C. A. 2005. Evaluación agronómica de variedades de caña de azúcar con potencial forrajero. *Revista Corpoica* 6 (2): 60-67

Rizzi R. 2005. Estimativa da produtividade de soja por meio de um modelo agrometeorológicoespectral: estudo de caso no Rio Grande do Sul Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 237-244.

Rostron H.. 1972. The effects of age and time of harvest on the productivity of irrigated Sugarcane. *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association-June*: 142-150.

Rozman Ě. K. Pažek 2005. Application of Computer Supported Multi-criteria Decision Models in Agriculture *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 70 (4):127-134

Rolim da Paz A. D. de Castro Victoria. 2005. Monitoramento espaço-temporal da cana-de-açúcar a partir de índices espectrais de vegetação En: http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/Adriano_Cana.pdf

Romero E.R. 2009. Manual del cañero. 1era edición ISBN 978-987-21283-7-1. Editado por Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucuman Argentina 232 p.

Romero R. 2005. Emergencia y crecimiento inicial de caña planta de la variedad TUCCP 77- 42 en diferentes épocas de plantación. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán Tomo 82 (1-2)*: 37-44.

Romero, E. R.; 2005. Importancia de la calidad de la materia prima en la productividad de la agroindustria azucarera. *Gacetilla Agroindustrial de la EEAOC N° 67 – Agosto*, 1-13 p.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A. and Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I*, 309-317

Rudorff, B. F. T. and Batista, G. T. 1990. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. *Remote Sensing of Environment*, 33(3):183-192.

Rudorff, B. F. T. 1985. Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. 114 pp. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. En: <http://biblioteca.universia.net/irARecurso.do?page=http%3A%2F%2Fbibdigital.sid.inpe.br%2Frep-%2Fsid.inpe.br%2Firis%401912%2F2005%2F07.18.22.34.40&id=7276893>

Rudorff B. F. T., D. Alves de Aguiar, W. Fernando da Silva, L. Miura Sugawara, M. Adami and M. Alves Moreira. 2010. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. *Remote Sens.* 2010, 2: 1058-1076

Rodríguez-Borray G. 2008. La diversificación productiva como estrategia d'activación de Sistemas agroalimentarios localizados : cas de l'agro-industria de la panela en Colombia. *Cahiers Agricultures* 17 (6): 572-576

Sánchez P. G. A. Ortiz S. C. Gutiérrez C. 2002. Clasificación campesina de tierras y su relación con la producción de caña de azúcar en el sur de Veracruz *TERRA* 20 (4): 359-369

Schaepman M. 2009. Earth system science related imaging spectroscopy—An assessment *Remote Sensing of Environment* 113:S123–S137

Schaepman, M.E. 2005. Spectrodirectional remote sensing for the improved estimation of biophysical and -chemical variables: two case studies. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6: 271–282

Senay, G. B., J. G. Lyon, A. D. Wuard y S. E. Nokes. 2000. Using High Spatial Resolution Multispectral Data to Classify Corn And Soybean Crops. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.* 66:319-327

Sims DA, Gamon JA .2002. Relationship between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range species, leaf structures and development stages. *Remote Sens Environ* 81: 337–354

Sistema de Información Agropecuaria 2009. Padrón De Productores De Caña De Azúcar (Zafra 2006-2007). Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación SAGARPA.

Sirvastva OP, Kumar A and Nagar Y 1999. Application of satellite technology in management and planning of sugarcane cultivation in the Saraswati sugar mills, Yamuna Nagar. *Proc STAI* 61: 145-156.

Silva JR. A. G. da, Perez, R., Martins, E.L. Análise de investimento em unidade de produção de óleo vegetal utilizando a metodologia "Analytic Hierarchy Process" com o software "Expert Choice". In. 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática. Viçosa – MG. 21 a 25 de setembro, 2009.

Shengyan D., G. Jidong e, Q. Lexiang. 2002. Assessment of biochemical concentrations of vegetation using remote sensing technology. *Journal of Geographical Sciences* 12(3): 321-330

Schmidt KS and Skidmore AK 2003. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sens. Environ.* 85: 92-108.

Soares A. S.,2008. Incident light orientation lets C4 monocotyledonous leaves make light work differently. *Nature Precedings* : hdl:10101/npre.2008.1672.1

Rudorff B. F. T. 2010. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data *Remote Sens.* 2: 1057-1076

Rudorff, B.F.T.; Berka, L.M.S.; Moreira, M.A.; Duarte, V.; Rosa, V.G.C. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do Estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,2004b. 39p. (INPE-11421-RPE/762).

Rudorff, B. F. T. 1985.Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. 114p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, En: <http://biblioteca.universia.net/irARecurso.do?page=http%3A%2F%2Fbibdigital.sid.inpe.br%2Frep-%2Fsid.inpe.br%2Firis%401912%2F2005%2F07.18.22.34.40&id=7276893>

- Russell C. 2009. Investigating the utility of SPOT 5 imagery and Artificial Neural Networks, in the identification and mapping of *Acacia mearnsii* within environments of varying complexity. Thesis for the degree of Master of Science in the discipline of Geography in the School of Applied Environmental Sciences, Faculty of Science and Agriculture University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg
- Salgado S. 2010. Lotificación del campo cañero: una metodología para iniciar la agricultura de precisión en ingenios de México *Interciencia*, 35 (3): 183-190.
- Salgado S. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujilic, Chiapas, México *Terra Latinoamericana* 362 26(4):361-373.
- Sánchez F. M. 1997. Desarrollo de la producción de caña y azúcar en la república mexicana. Colegio de Posgraduados. Montecillo Texcoco Edo. de México 143 p
- Saaty T. L 2001. deriving the ahp 1-9 scale from first principles. Proceedings – 6th ISAHP Berne, Switzerland 397-402. EN: <http://www.isahp.org/2001Proceedings/Papers/125-P.pdf>
- Saaty T. L 199. Basic theory of the analytic hierarchy process: how to make. a decision. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat. (Esp)* 93(4):395-423
- Saaty, T.L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, 48:9-26.
- Saaty, T. L. 1980. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill. New York.
- Samizava T.M., Kaida R.H., Imai N.N., Nunes J.O.R. 2008. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, 60:43-55.
- Santé Riveira, I. y Crecente Maseda, R. 2005. Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales”, *GeoFocus (Artículos)*, 5: 40-6
- Scarpari M. S, E. Gomes Ferreira de Beauclair 2004. sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters . *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 61(5):486-491.
- Schmidt E.J., Gers C., Narciso G. and Frost P. 2001. Remote Sensing in the South African Sugar Industry, *Proceedings of the XXIV International Society of Sugar Cane Technologists'*, pp.241-246
- Simões dos Santos M.; J. Vieira Rocha; R. A. Camargo Lamparelli. 2005. Spectral variables, growth analysis and yield of sugarcane. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 62(3):199-207
- Sinbad, P. 1972. Étude d' évolution des sols sous culture traditionnelle en Itante-Casamance. *L'Agr. Trop.* 27: 574-595.
- Smit, M.A, A. Singels. 2006. The response of sugarcane canopy development to water stress *Field Crops Research* 98(2-3): 91-97.
- Shu-Kuang Ning, Ni-Bin Chang, Kai-Yu Jeng. 2006. Soil erosion and non-point source pollution impacts assessment with the aid of multi-temporal remote sensing images. *Journal of Environmental Management* 79: 88–101
- Simões, M.D.S., Rocha, J.V. y Lamparelli, R.A.C. 2005. 'Spectral variables, growth analysis and yield of sugarcane'. *Scientia Agricola (Piracicaba, Brasil)*, 62(3):199-207.

Simões, M. dos Santos 2004. Relação entre indicadores de crescimento e de produção da cana-de-açúcar e dados espectrais terrestres e orbitais. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola 117 p.

Simões dos Santos M.; J. Vieira Rocha; R. A. Camargo Lamparelli 2003. análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo En: Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, pp.2367 - 2374

Singels A. 2005. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. *Field Crops Research* 92: 249–260

Smit, M A 2004. differences in canopy development of two sugarcane cultivars under conditions of water stress: preliminary results. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 78:149-152

Sipahi, Mehpare T. 2010. The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications", *Management Decision*, 48 (5):775 – 808

Srivastva OP, Kumar A and Nagar Y.1999. Application of satellite technology in management and planning of sugarcane cultivation in the Saraswati sugar mills, Yamuna Nagar. *Proc STAI* 61: 145-156

Solow, A., Adams, R., Bryant, 1998. The value of improved ENSO prediction to U.S. agriculture. *Climatic Change*, 39:47-60.

Soria, Federico J. et al. Evaluación de los datos del sensor ASTER para estimar la superficie cultivada y los niveles de producción de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. *Rev. ind. agríc. Tucumán* 84(1).

Soria, F.J.,V. Fandos, C., and Scandalariis, J., 2002. Using Landsat Data to Estimate Planted Area and Production Levels of Sugarcane in Argentina, *The Earth Observer*, 14 (3), 12-16.

Soria, F.J., C. A. Ortiz Solorio. 2009. Sitios de ocurrencia y predicción de rendimientos de maíz a través de índices de vegetación de imágenes de satélite TERRA Latinoamericana.18(001):27-34

Straschnoy, J. V. 2006. Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria. *RIA*, 35 (2):117-141

Subiros F. R. 2000. El cultivo de caña de azúcar. 1era reimpressão S.J. Costa Rica. EUNED 448 p.

Subiros F. R 1998. calidad del jugo y contenido de fibra de tres variedades de cana de azucar en un ciclo de crecimiento en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomia Costarricense* 22(2): 173-184. 1998

Terashima K. 1995. Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis *Plant, Cell & Environment* 18(10):1111–1128

Tienwong Kanlaya, Songkot Dasananda, Chalie Navanugraha. 2009. Integration of land evaluation and the analytical hierarchical process method for energy crops in Kanchanaburi, Thailand. *ScienceAsia* 35: 170–177

Timmermann, A., Oberhuber J., Bacher A., Each M., Latif M and Roeckner E. 1999. ENSO Response to Greenhouse Warming. *Nature*: 694-697.

Thorp. K. R. 2010. assimilating leaf area index estimates from remote sensing into the simulations of a cropping systems model. *Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 53(1): 251-262

Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2):127-150.

- Ueno M, Y. Kawamitsu, L. Sun, E. Taira and K. Maeda. 2005. Combined applications of NIR, RS, and GIS for sustainable sugarcane production. *Sugar cane international* 23(4)
- Upadhyay G. S. 2008 Derivation of Crop Phenological Parameters using Multi-Date SPOT-VGT-NDVI Data: A Case Study for Punjab. *Indian Soc. Remote Sens.* 36:37–50
- Ustin, S. L. Jacquemoud S. 2001. Simulation of photon transport in a three-dimensional leaf: implications for photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* 24: 1095–1103.
- Vargas, L.G. 1990. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research, Amsterdam*, 48:2-8
- Vázquez A. A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del suelo y agua. Segunda edición. UACH. 31 p.
- Vieira, S.R. 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R.F. (Ed.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54
- Vansichen R, de Baerdemaker J (1993) A measurement technique for yield mapping of corn silage. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55:1-10.
- Vicini, L.E. 2007. Determinación de la variación del rendimiento cultural de caña de azúcar en Tucumán-Argentina, posicionada con GPS. Proyecto Nacional Agricultura de Precisión. Ediciones INTA, Actualización Técnica No. 8, 20 p.
- Villegas J. D. Techno economic and environmental evaluation of lignocellulosic biochemical refineries. [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2421/1/JSIR%2067\(11\)%20927-940.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2421/1/JSIR%2067(11)%20927-940.pdf)
- Kumar Vikesh, Kumar Vinod, & Jain Kamal. 2010. Development of Spectral Signatures and Classification of Sugarcane using ASTER Data *International Journal of Computer Science & Communication* 1(1):245-251
- Waclawovsky A. 2010. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal* 8:263–276
- Wahid A. 2004. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 45:133-141
- Whittaker A. 1997. Carbon Partitioning during Sucrose Accumulation in Sugarcane Internodal Tissue. *Plant Physiol.* 115: 1651-1 659
- Wiegand C., 1996. Soil salinity effects on crop growth and yield-illustration of an analysis and mapping methodology for sugarcane. *J. Plant Physiol.* 148:418-424.
- Wulder M. 1998. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters *Mike Progress in Physical Geography* 22,4: 449-476
- Yang P. S. 2002. Applying Analytic Hierarchy Process in Firm's Overall Performance Evaluation: A Case Study in China. *international journal of business*, 7(1): 29-46
- Yang C., J. H. Everitt, 2011. Evaluating high resolution SPOT 5 satellite imagery for crop identification *Computers and Electronics in Agriculture*
- Yang C., J. H. Everitt, R. S. Fletcher 2008. Using High Resolution SPOT 5 Multispectral Imagery for Crop Identification *ASABE Technical Library Online*. American Society of Agricultural and Biological Engineers,

St. Joseph, Michigan www.asabe.org, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan

Yang, S. J. 1997. The water use efficiency of sugar cane crop – a review. ISSCT Irrigation Workshop. Townsville, Australia, Sept. 15 – 19, 22 p

Xavier A. C.; B. F. T. Rudorff, Y. E. Shimabukur; L. M. Sugawara Berka; M. A. Moreira 2006. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. International Journal of Remote Sensing, V. 27, Issue 4 February, 755 – 768 p.

Xavier A.C., Carlos A. Vettorazzi, Ronalton E. Machado 2004. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat Eng. Agríc., Jaboticabal. 24(2):421-430.

Xie Yichun, , Zongyao Sha, and Mei Yu 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. Journal of Plant Ecology 1(1):9–23

Xin-Guang Zhu, Stephen P Long and Donald R Ort 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? Current Opinion in Biotechnology, 19:153–159

Zhao Chunjiang, Jihua Wang 2010. Spectral indices sensitively discriminating wheat genotypes of different canopy architectures. Precision Agric 11:557–567

Zarco-Hidalgo A, F. Paz-Pellat, E. Palacios-Vélez 2008. modelación del efecto de escala espectral en el sistema suelo-vegetación. Agrociencia 42: 193-204..

Zarco-Tejada and Sepulcre-Cantó. 2007. Remote sensing of vegetation biophysical parameters for detecting stress condition and land cover changes. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo VIII:37-44

Zhang P., B. Anderson, Dong Huang, Ranga Myneni. 2005. Potential monitoring of crop production using a satellite-based Climate-Variability Impact Index Agricultural and Forest Meteorology 132:344–358

Zhou M.M., A Singels 2003. physiological parameters for modeling differences in canopy development between sugarcane cultivars. Proc S Afr Sug Technol Ass: 610-625

Zullo JR, H. M. Machado, R. A. C. Lamparelli, J. V. Rocha V. H. Pereira. 2002 utilização de dados orbitais (landsat 7) e sistema de informações geográficas (sig) na estimativa do potencial de produção da cana-deaçúcar. 2º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

3. Análisis de la Capacidad de Diversificación de la Agroindustria Azucarera por evaluación multicriterio (EMC) en un ambiente SIG

3.1. Introducción

El intento de cuantificar la productividad, costos de producción, capacidad para expandir la producción, diversificarse y la competitividad en cualquier país azucarero es una tarea compleja. Si todos los factores a tomar en cuenta se presentan en igualdad de condiciones, los costos unitarios fijos fluctúan de un año a otro, junto con el tamaño y productividad de la cosecha de caña de azúcar que es dependiente del clima. Por otra parte, se presentan grandes diferencias entre las distintas tipologías de productores, debido a la diversidad de su escala de operación, equipos y maquinaria agrícola e infraestructura, prácticas de manejo, logística y condiciones locales. No hay dos empresas azucareras iguales, y pocas, quizá ninguna fábrica están diseñadas y equipadas de la misma manera. La amplia volatilidad de los costos y la productividad son comúnmente distorsionadas por los insumos de producción. Por lo tanto, datos confiables y Estandarizadas de costos e indicadores de la industria azucarera son un bien escaso a nivel mundial de azúcar, y México no es una excepción.

La diversificación, como elemento de la competitividad, ha sido abordada en numerosos estudios como una forma de acelerar la viabilidad económica de la producción agroindustrial a largo plazo mediante la mejora en la rentabilidad y la estabilidad general del sector, y el cambio hacia otros cultivos o actividades económicas en la agricultura y otros procesos productivos en la industria. A pesar de que la diversificación es uno de los temas relevantes de estudio de diferentes áreas de conocimiento (finanzas, marketing, dirección estratégica, economía industrial y agrícola), estos, en su mayoría, se han concentrado en investigar la relación que existe entre la diversificación y los resultados y su forma de evaluación y han presentado menor atención a los motivos que impulsan a las empresas a seguir un proceso de diversificación (Ramanujan *et al.* 1989). Es decir, diversificación puede apreciarse en la literatura especializada, con un número impresionante de trabajos sobre el tema, si bien los hallazgos continúan siendo fragmentados y controvertidos, no existiendo un acuerdo en cuanto a la forma de conceptualizar, definir y medir esta estrategia

Mubarik Ali, (2004) planteó que la diversificación debe considerarse como un primer paso en el proceso de lograr la competitividad. Esto requiere el fomento de un entorno favorable que permita a la agroindustria determinar los cultivos y proyectos agropecuarios que podrían ser producidos eficientemente para generar las mayores ganancias y alcanzar una mayor ventaja competitiva. En este sentido, existe una serie de requisitos para la creación de ese entorno: 1) las inversiones en investigación y desarrollo (I + D) para reforzar la agroindustrialización basada en el conocimiento, 2) la provisión de infraestructura adecuada y de instalaciones de producción y de comercialización; 3) eliminación de las barreras no comerciales, 4) la provisión de la tecnología pertinente y conocimientos, en particular, de la productividad y las técnicas de gestión, herramientas necesarias para el cumplimiento de las normas internacionales; es decir las 5"l" de la competitividad (Incentivos, Innovaciones, Inputs, Instituciones e Infraestructura).

La diversificación surge como un tópico central de investigación en Dirección Estratégica. Sin embargo, en la actualidad la literatura sobre diversificación no solo involucra una gran variedad de perspectivas teóricas y disciplinas que justifican la diversificación de las empresas, sino también genera un amplio rango de preguntas y temas de investigación. Una revisión de la literatura revela que existe gran variedad en la forma como la diversificación es conceptualizada y medida. De acuerdo con Riveros (2004), existen dos formas para definir la diversificación, la primera posee un carácter más activo y se refiere al propio concepto de diversificación, la segunda, presenta un carácter más pasivo y hace referencia al concepto de diversidad

3.2. Tipologías de diversificación

Para Ansoff (1965) existen dos grandes alternativas con respecto al crecimiento de una empresa: la estrategia de expansión y la estrategia de diversificación. Mediante la primera, la empresa sigue compitiendo en los mismos mercados y con los mismos productos con los que lo hacía anteriormente. Mediante la segunda, la empresa se adentra en nuevos negocios a través de nuevos productos y mercados, simultáneamente

Ramanujam y Varadarajan (1989) definen 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. Ansoff (1976) considera 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 de los mercados 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 vende en nuevos mercados o en el mercado tradicional; y d) conglomerada, cuando los nuevos productos y mercados no están relacionados con los productos y mercados habituales de la empresa.

Rumelt (1982) habla de cuatro tipos de diversificación a) negocio único, cuando las empresas están compuestas por un solo negocio; b) negocio dominante, las empresas incluyen más de un negocio pero uno de ellos tiene una importancia mayor que el resto; en este caso, la diversificación se da cuando se comparten los beneficios de las empresas conjuntas de producción o los canales de distribución de sus diferentes líneas de productos; c) 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; d) 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. Dicha clasificación, goza de una extensa aceptación y respaldo en trabajos posteriores donde las de más

relevancia en la literatura económica son la diversificación relacionada y la no relacionada (Cuadros 3.1 y 3.2). Por otra parte, dentro de esta clasificación, la diversificación geográfica es la búsqueda de nuevos mercados físicos para el mismo producto, tecnología y tipo de cliente. Es más una ampliación que una diversificación, es decir, se limita a ofrecer los mismos productos y/o servicios en nuevos mercados. Aquí se presentan dos opciones: la expansión de la base geográfica donde opera la empresa (regional, nacional o internacional) o el acercamiento a nuevos segmentos de mercado o perfiles de clientes. En cambio, Pitts *et al.* (1982) utilizan el término diversidad para describir “la extensión a través de la cual las empresas son simultáneamente activas en varios negocios distintos”. Para Huerta (2006) una empresa diversificada será aquella que: “Participe simultáneamente en más de una industria, influyendo en el campo de actividad de la empresa y, por ende, en su estrategia corporativa o global”

Cuadro 3.1. Tipos de Diversificación (Ansoff 1976)

		NUEVOS PRODUCTOS	
		Relacionados tecnológicamente	No relacionados tecnológicamente
NUEVOS MERCADOS	Del mismo tipo	DIVERSIFICACIÓN HORIZONTAL	
	La empresa es su propio cliente	INTEGRACIÓN VERTICAL	
	De tipo similar	DIVERSIFICACIÓN CONCÉNTRICA (Tecnología y marketing relacionados)	DIVERSIFICACIÓN CONCÉNTRICA (Marketing relacionado)
	Nuevos tipos	DIVERSIFICACIÓN CONCÉNTRICA (Tecnología relacionada)	DIVERSIFICACIÓN CONGLOMERADA

Cuadro 3.2. Categorías de diversificación de Rumelt (Christensen y Montgomery, 1981)

Categorías originales	Subcategorías	Definición
Negocio Único		Son empresas que se basan en un solo negocio, donde el 95% o más de sus ingresos provienen de ese "único negocio".
Negocio Dominante		Son empresas que están compuestas por más de un negocio, pero que "un negocio" posee una importancia relativa mayor que el resto. Entre el 94 y 70% de sus ingresos provienen de él.
	Dominante Limitado	En esta subcategoría, la empresa presenta una leve diversificación a través de negocios que se relacionan entre sí y con el negocio dominante.
	Dominante Vinculado	En esta subcategoría, la empresa presenta una leve diversificación a través de negocios que se relacionan entre sí al menos con un negocio de la empresa.
	Dominante No Relacionado	En esta subcategoría, la empresa presenta una leve diversificación a través de negocios que no poseen relación entre sí.
Negocio Relacionado		Son empresas que poseen más de un negocio, donde ninguno de ellos es dominante, pero mantienen cierta semejanza entre sí. Menos del 70% de sus ventas provienen de "un único negocio y poseen un alto nivel de relación".
	Relacionado Limitado	Son empresas compuestas por más de un negocio, relacionados estos a través de una fortaleza o recursos asociados con los negocios originales.
	Relacionado Vinculado	Son empresas compuestas por varios negocios relacionados, que diversifican sobre la base de varias fortalezas o recursos.
Negocio No Relacionado		Son empresas que poseen más de un negocio, pero ninguno de ellos presenta relación entre sí. Menos del 70% de sus ventas vienen de un único negocio y poseen un bajo nivel de relación.

Esta variación en categorías y conceptos se refleja en la heterogeneidad de significados ofrecidos por diversos autores (Cuadro 3.3)

Cuadro 3.3. Significados de diversificación

Definición del concepto diversificación	Autor
Heterogeneidad de productos	Gort (1962)
Nuevos mercados con nuevos productos	Ansoff (1976)
Incremento en el número de industrias	Berry (1975)
Participación simultánea en diferentes negocios	Pitts y Hopkins (1982)
Extensión de la base de un negocio para mejorar el crecimiento y/o reducir el riesgo global	Bozz, Allen y Hamilton (1985)
Extensión de las habilidades de la empresa	Grant y Jammine (1988)
Entrada de una empresa hacia nuevas líneas de actividad vía desarrollo interno o por adquisición	Ramanujan y Varadarajan (1989)
Decisiones relacionadas con la dirección hacia la que se diversifica, el modo y los procesos directivos y organizativos que conlleva	Pérez-Rodríguez (1998)
Las decisiones tendentes a ampliar y/o hacer más diverso el ámbito de actuación de la empresa.	Suárez-González (1993)
Es el resultado de la posesión de capacidad sobrante en recursos que tienen múltiples usos y para los cuales existe una imperfección en el mercado	(Peteraf, 1993)

Osorio (2009) y Martin and Sayrak, (2003) reportaron una revisión sobre los temas de la diversificación de la empresa durante la última década y Rodríguez Duarte (2009) el impacto de las actividades de I+D+I en la Diversificación (Cuadro 3.4)

Cuadro 3.4. Relación entre innovación tecnológica y diversificación (Rodríguez Duarte, 2009)

Conclusiones	Autores
Asociación positiva entre esfuerzo de I+D y decisión de diversificación	Grant (1977)
Influencia positiva de la ratio gastos de I+D/ventas sobre la diversificación	Teece (1980)
Influencia positiva de las actividades de I+D sobre la probabilidad de diversificación.	Lemelin (1982)
Concepto de «árbol tecnológico», según el cual, el potencial tecnológico de las empresas encuentra aplicación en productos y mercados diversificados.	Giget (1984)
Las inversiones en I+D incrementan el grado de diversificación, y canalizan ésta hacia industrias también intensivas en I+D.	MacDonald (1985)
Existencia de vínculo entre las direcciones de las patentes de una empresa y su patrón de diversificación.	Jaffe (1986)
Evidencia leve de la relación positiva entre la I+D de la industria y la estrategia de diversificación de las empresas	Grant y Jammine (1988)
Esfuerzos previos en I+D conducen a la diversificación, que a su vez conduce a estructuras organizativas multidivisionales en forma M.	Baysinger y Hoskisson (1989)
La presencia de intangibles, en particular tecnológicos, conduce a diversificación relacionada.	Chatterjee y Wernerfelt (1991)
Concepto de «clusters tecnológicos», caso particular de diversificación relacionada	Dussauge, Ramanantsoa y Hart (1992)
La diversificación es más probable hacia industrias con intensidad de I+D similar	Merino y Rodríguez (1997)
La diversificación está estrechamente vinculada a los gastos de I+D.	Aw y Batra (1998)
Existen incentivos a reducir la diversificación en las empresas más diversificadas tecnológicamente	Cantwell y Bachmann (1998)
El stock de activos intangibles tecnológicos representado a través de patentes está asociado positivamente con la probabilidad de diversificación.	Silverman (1999)
Relación positiva entre la intensidad de I+D y el grado de diversificación	Forcadell Martínez (2000, 2001)
el incremento en el número de sectores en que las empresas están operando de una forma activa	Berry (1975),

3.3. Diversificación agrícola

Los sistemas agrícolas se caracterizan por complejas interacciones entre una variedad de factores económicos, ambientales y sociales. Esta complejidad ha llevado a la búsqueda de formas en que el conocimiento científico pueda ser incorporado para que los stakeholders de la agroindustria puedan utilizarlo en la gestión y toma de decisiones (Thorburn, 2008).

Es un proceso que puede ser visto en cuatro etapas. Inicialmente, la diversificación de cultivos se encuentra en el nivel en el que se ha producido un cambio de monocultivo. Esta es la fase en la que muchos países en desarrollo están actualmente situados. En la segunda etapa, la unidad productiva²³ cuenta con más de una empresa y puede producir y vender sus cosechas en distintas épocas del año. En la etapa posterior, la diversificación es entendida como la agricultura mixta. Por último, se integran las actividades que más allá de la agricultura se han incorporado en el sentido de la

²³ La unidad productiva cañera es la unidad económica fundamentada en la familia campesina, que desarrolla diversas actividades y entre las más importantes en cuanto al ingreso es la producción de caña de azúcar que se caracterizan por articulaciones e interrelaciones productivas, técnico-económicas y políticas, así como asimetrías económicas con los agentes participantes de la agroindustria azucarera (Sanchez, 2003)

diversificación. En la etapa final, la diversificación puede ser considerada como prácticas no convencionales con respecto a las actividades tradicionales de explotación agrícola familiar. Además, incorpora la utilización de los recursos para actividades no agrícolas. Tales actividades podrían incluir el procesamiento en la unidad productiva, y el suministro de productos no agrícolas y servicios en la explotación agrícola convencional.

Esto es coherente con la extensa literatura de diversificación en áreas agrícolas que se ha desarrollado desde la década de 1950 siguiendo los trabajos iniciales de Heady (1952) y Markowitz (1959), que explican a la diversificación como una estrategia en la que se utiliza el excedente de capacidad de los factores de producción, que están sujetos a fallos del mercado, para disminuir el riesgo. Por lo tanto, si no hay mercado para los excedentes de los factores de la producción agrícola como la tierra o el capital, la producción puede ser generada a partir de ellos mediante la utilización de estos factores en una unidad productiva que incluya empresas no agrícolas (Chaplin, 2000). En ese sentido, la diversificación puede ser vista como un subconjunto de la más amplia conceptualización de la unidad productiva, la pluriactividad que abarca "todas las formas de los productos no agrícolas y en la generación de ingresos fuera de la unidad productiva. Por lo tanto, la pluriactividad incorpora la diversificación y la agricultura a tiempo parcial a través de la utilización de mano de obra, tierra y capital (Figura 3.1).

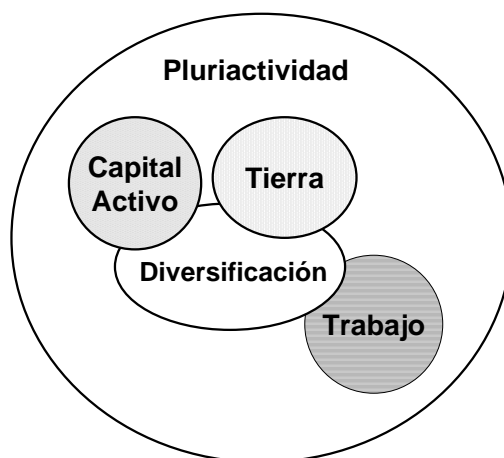


Figura 3.1. Diversificación y factores de producción (DEFRA, 2003)

Bowler et al (1999) describen que desde mediados de la década de 1980, la diversificación agrícola ha sido promovida en Europa como una estrategia clave para el ajuste de las zonas rurales. el proceso de diversificación agrícola es el desarrollo de "empresas agrícolas alternativas", donde el término "alternativa" significa la introducción de fuentes no tradicionales de ingresos para el negocio agrícola pre-existente. Esencialmente, la distinción es que las formas de diversificación agrícola se basan en las empresas de producción primaria, mientras que las empresas no agrícolas suelen depender de empresas de producción secundaria o terciaria siempre que el agricultor toma el control de la transformación y comercialización de sus productos primarios con el fin de capturar el valor agregado

Cáceres (1994) describe la diversificación agrícola “como un conjunto de estrategias que ocurren dentro y fuera de los sistemas productivos y que tienen como objetivo alcanzar la reproducción social del grupo doméstico” y la denomina diversificación productiva social debido a que reconoce la importancia de las actividades de diversificación que ocurren fuera de la explotación agrícola (pluriactividad); por lo tanto, el análisis de las alternativas a implementar debe, en primer lugar, considerar la heterogeneidad productiva interna que hace que coexistan diversos sistemas productivos con grandes semejanzas en cuanto a su estructura productiva básica (tierra, trabajo y capital). Incluso, también se expresan fuertes semejanzas cuando se analizan algunos aspectos vinculados a su sistema tecnológico.

Ilbery (1991) plantea que existen tres subdivisiones del concepto para la agricultura: la diversificación estructural, la agrícola y la pasiva. La diversificación estructural se deriva de los cambios estructurales de la diversificación de los recursos hacia otros procesos de producción fuera de los alimentarios, la diversificación agrícola, se refiere al manejo simultáneo de diversos procesos de producción agrícola convencionales; y la diversificación pasiva, es donde la tierra, los edificios o infraestructura de la explotación básica se alquilan a otra empresa. Esta tipología pone de manifiesto las múltiples formas que la diversificación podría adoptar, pero no las cubre a todas

A escala nacional, la diversificación permitirá aumentar el grado de autosuficiencia de un país. A nivel regional, la diversificación permitirá mitigar las externalidades negativas asociadas con el monocultivo

Por otra parte Romero León, (2006) afirmó que la diversificación en un territorio es una opción para la gestión del riesgo en el mediano plazo con la participación de múltiples herramientas empresariales que, por su diseño, puede desempeñar un papel en la reducción de la dependencia de un país en relación con determinado producto o mercancía. En la agricultura, la diversificación permite a los productores un cambio entre los cultivos alternativos. Davis y Devinney (1997) sostienen que existen como posibles tres tipos de diversificación en un gradiente de menor a mayor rentabilidad: a) en relación con cultivos (diversificación horizontal), b) con la inclusión de actividades no agrícolas (diversificación vertical), y c) con la división en el uso de los recursos entre las diversas actividades (diversificación horizontal y vertical). Para cada uno, una condición fundamental para el éxito es que los mercados destinatarios sean crecientes y dinámicos.

La diversificación vertical se refiere a ascender en la cadena de valor tradicional de productos básicos como resultado de un valor añadido en la producción base. Esto puede implicar la diferenciación a través de la calidad o del origen, además de la transformación.

La diversificación horizontal permite la inclusión de nuevos productos, como cultivos exóticos o cultivos orgánicos para la exportación. La diversificación en productos básicos no tradicionales se ha considerado una estrategia excelente, porque se trata de recursos semejantes a los utilizados para los productos básicos tradicionales. Desafortunadamente, la mayoría de los países en desarrollo presentan limitaciones a la diversificación horizontal debido a la falta de experiencia en la comercialización de

productos básicos y no tradicionales, la dificultad de acceso a los servicios financieros, y la infraestructura deficiente.

Cáceres, (2002) sugiere para la agricultura que la heterogeneidad productiva presente en las explotaciones agrícolas se basa en la combinación de cuatro tipos de diversificación productiva: genética, espacial y temporal de manejo.

a) Diversificación genética. Hace referencia a la incorporación de un amplio espectro de genes al diseño de sus sistemas productivos. Se manifiesta no sólo a partir de la producción de un número elevado especies productivas distintas, sino también a través de la diversificación que se observa en cada sistema productivo, a partir de la combinación de distintas variedades vegetales y/o razas animales.

b) Diversificación espacial. tiene que ver, primero, con la búsqueda de la mejor conjunción posible entre las potencialidades productivas de base ecológica del sistema y los requerimientos y necesidades de cada sistema productivo. Este tipo de diversificación se manifiesta a través de la siembra asociada y del sistema de cultivo en parches. A través de estas estrategias de cultivo los productores combinan de distinto modo y utilizando distintas técnicas, una gran cantidad de especies en un mismo espacio productivo para potenciar los aportes que puede realizar cada una de ellas para el fortalecimiento del conjunto.

c) Diversificación temporal. Se refiere al tipo de diversificación que permite disponer de un mismo sistema productivo en distintos momentos del año. El objetivo principal es disminuir las posibilidades de pérdida total ante eventos adversos de origen climático, sanitario, o comercial. En estas explotaciones, la diversificación temporal se logra a través de la realización de siembras escalonadas de cultivos anuales de una misma variedad, la utilización de variedades anuales con ciclos productivos de distinta longitud, o a través del cultivo de plantas perennes de la misma especie pero que ofrecen su producción en distintos momentos del año.

d) Diversificación de manejo. Tiene que ver con las diversas prácticas tecnológicas que componen los procesos productivos de los sistemas agrícolas.

El análisis de los factores que afectan la diversificación, al generar una combinación de empresas para reducir la variabilidad de los ingresos agrícolas, como rendimiento agrícola variable, costos y precios, condiciones climáticas y de mercado siguen siendo un campo de investigación en gestión estratégica y organización industrial (Briglauer, 2000)

3.4. Sectores agroindustriales diversificados

En el presente análisis, se presentan tres estudios de caso de empresas diversificadas: agroindustrias de maíz, soya y caña de azúcar. Estos casos han sido ampliamente

documentados como ejemplo de los efectos beneficiosos de la diversificación productiva para alcanzar la competitividad en un sistema agroindustrial²⁴.

3.4.1. Agroindustria del maíz

En los últimos tiempos, el maíz se ha orientado a un uso industrial diversificado y no sólo como cultivo productor de insumos para el consumo humano y pecuario por sus características de eficiencia alta de conversión de recursos, rendimiento elevado por hectárea y composición química. En sentido amplio, la producción de combustibles, materiales plásticos, fibras textiles, almidón y aceites de alta calidad ofrece un gran potencial de aplicaciones en la industria y un número creciente de subproductos (Leff, 2004). En México, se distinguen dos tipos de industria: básica y complementaria (Figura 3.2)

²⁴ Chenery et al., (1986) apuntó que las economías con crecimiento impulsado por las exportaciones, Industrializados antes que los demás, tienen tasas más altas de los factores totales de productividad y tienden a lograr la estructura competitiva de insumo-producto de una economía avanzada más rápido que los países no exportadores. Desde el punto de vista estructural, el sector moderno está restringido por su diversificación productiva y la competencia internacional. Estos factores limitan la cantidad de empleo que se puede generar en el sector moderno. En su proceso de cambio estructural las naciones crean industrias cada vez más integradas en términos de su articulación intersectorial anterior; en pocas palabras, los insumos tienden a desarrollarse primero que las industrias que los utilizan. Por eso inicialmente los países tienden a ser productores de bienes primarios, posteriormente pasan al desarrollo de bienes intermedios, y por último desarrollan las industrias productoras de bienes de capital y las industrias de alta tecnología. La industrialización de los países subdesarrollados se ha basado en la educación, la adopción de tecnologías, la diversificación industrial y el aprendizaje en la práctica (empírica). Entonces la industrialización no se genera espontáneamente, y el Estado debe adoptar políticas de largo plazo para lograrla. La externalidad productiva generada por la diversificación industrial (profundización de la división social del trabajo) implica que la creación de nuevas ramas productivas aumenta la productividad total. Pero este efecto no es percibido por el inversionista privado. En consecuencia, en un contexto de libre funcionamiento del mercado, los agentes privados invertirán menos que lo socialmente deseable. El estado entonces debe intervenir para promover la inversión y el proceso de industrialización y diversificación.

Ortiz (2006) plantea que es conveniente resaltar dos aspectos: (i) los países en desarrollo (periferia) no producen el producto final, pues no cuentan con la diversificación productiva necesaria para competir internacionalmente; (ii) como no se requiere capital humano para la producción del bien final en estos, el capital humano de cada país se distribuye uniformemente entre los n sectores intermedios disponibles; así se convierten en productores de materias primas. Por tanto, un primer resultado de las ventajas comparativas en este modelo es la apertura comercial de un país pequeño y se especializa en la producción de materias primas y, por tanto, su diversificación industrial disminuye y pueden derivar en una especialización completa de los países en desarrollo. Entonces la periferia se especializa completamente en las actividades que el centro demanda y como resultado se genera menor diversificación.

Por su parte, Taylor, (1994) concluye que los procesos de centro y periferia son dos tipos opuesto de relaciones complejas de producción. Los procesos de centro consisten en relaciones que combinan salarios relativamente altos, tecnología moderna y un tipo de producción diversificada; en tanto que los procesos de periferia consisten en relaciones que combinan salarios bajos, tecnología más rudimentaria y un tipo de producción simple

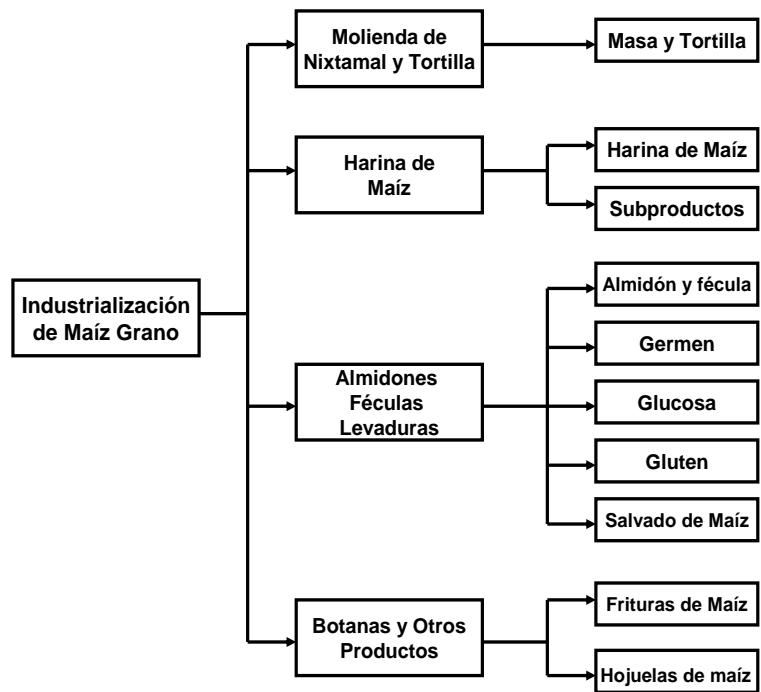


Figura 3.2. Industrialización del maíz en México

Esto contrasta significativamente con la agroindustria del maíz de Estados Unidos, ejemplo principal del valor añadido agroindustrial y competitividad internacional. Las empresas refinadoras producen una gama amplia de alimentos, piensos y productos; estas empresas han trabajado para crear demanda y darle usos diversos con valor agregado a un cultivo que es altamente productivo. Las refinerías de maíz (agroindustrias del maíz) separan la materia prima en sus componentes - almidón, aceite, proteína y fibra y las convierten en productos de mayor valor agregado y diversas aplicaciones comerciales (Figuras 3.3 y 3.4).

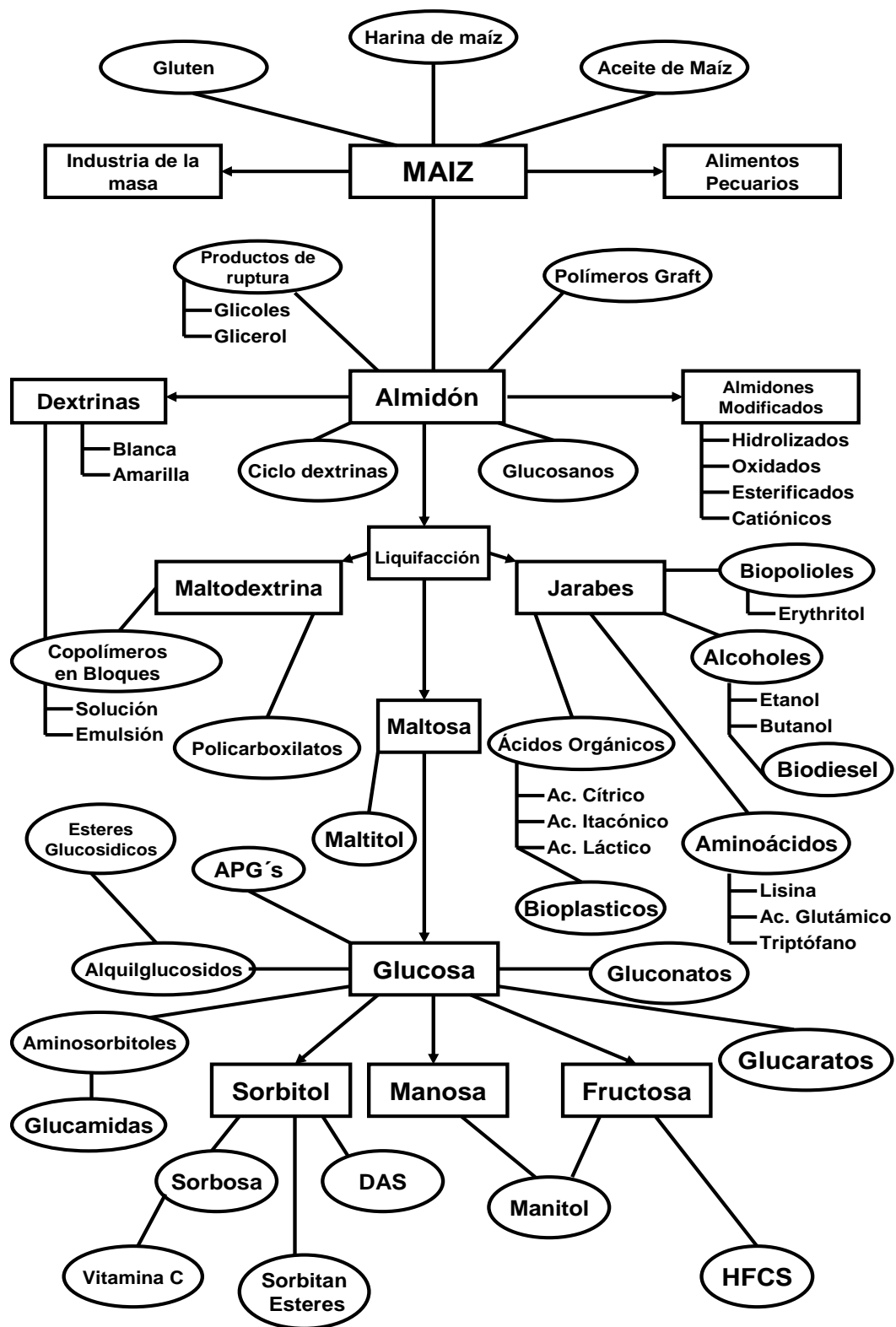


Figura 3.3. Derivados del maíz (Sulc, 2007, Rausch, 2006, Erickson, 2004)

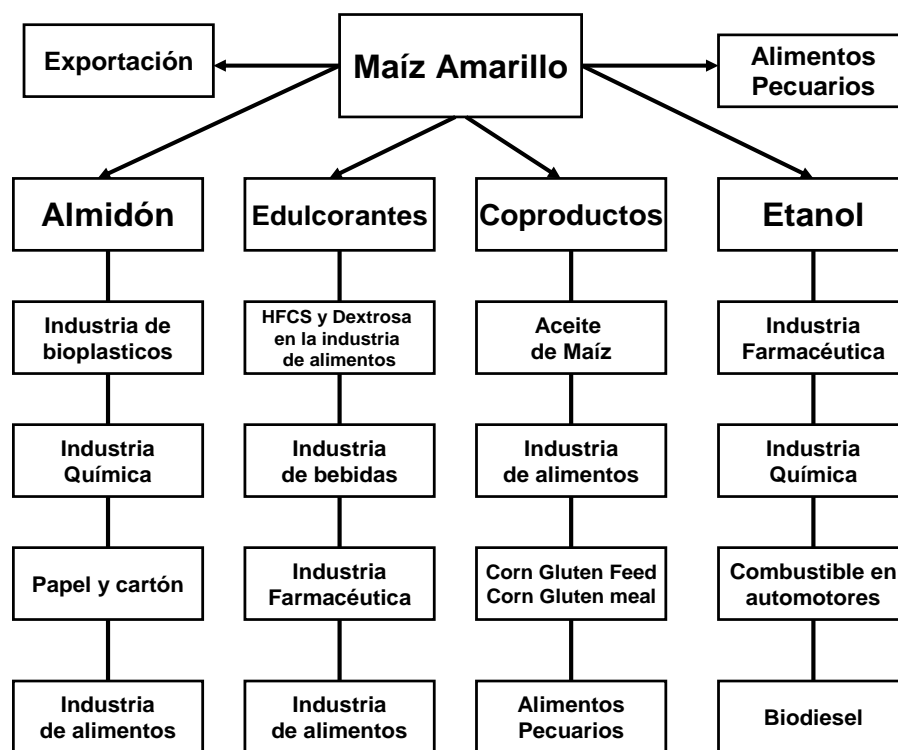


Figura 3.4. Aplicaciones de los derivados del maíz amarillo (Sulc, 2007, Rausch, 2006, Erickson, 2004)

Hoy en día, almidón, fécula, glucosa y dextrosa siguen siendo los productos básicos de la industria de molienda húmeda. Los avances en ingeniería de procesos y biotecnología han permitido a las refinerías convertirse en proveedores de insumos de costo bajo de alimentos básicos y componentes químicos en la apertura de mercados nuevos en todos los sectores industriales (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Volumen de productos de maíz (USDA, 2009)

Año	HFCS	Glucosa y dextrosa	Almidón	Etanol Combustible	Bebidas Alcohólicas	Cereales y otros productos	Semilla	Total
Bushel (Millones)								
2001	540.57	217.09	245.70	705.95	131.00	186.00	20.06	2,046.37
2002	531.84	219.28	255.73	995.50	131.00	186.90	19.97	2,340.22
2003	530.19	227.93	271.49	1,167.55	132.00	187.40	20.56	2,537.11
2004	520.67	221.89	278.64	1,323.21	132.80	189.00	20.79	2,687.00
2005	528.61	229.31	275.38	1,603.32	135.00	190.20	19.90	2,981.72
2006	510.11	238.97	271.68	2,119.49	135.82	190.42	23.75	3,490.25
2007	490.30	235.59	261.77	3,026.13	135.40	192.40	21.84	4,363.42
2008	460.00	240.00	250.00	3,700.00	134.00	192.70	23.30	5,000.00

3.4.2. Refinado o molienda de maíz

En los últimos años, la demanda de etanol ha dado lugar a un aumento significativo de la molienda de maíz. El maíz es convertido en etanol principalmente mediante dos procesos industriales: Molienda húmeda y trituración seca; la semilla de maíz es fraccionada en sus componentes principales (germen, fibra y almidón); que junto al proceso de molienda seca para hojuelas de maíz (base de los cereales de desayuno o corn flakes) generan varias corrientes de procesos y coproductos de diferente composición y valor económico (Erickson, 2004) (Cuadros 3.6 y 3.7)

Cuadro 3.6. Derivados del maíz y subproductos según proceso de refinado (Raush, 2006)

Proceso	Productos primarios	Coproductos
Molienda Húmeda	Almidón, Etanol, HFCS	Aceite de Maíz, gluten de maíz (CGF), Harina de gluten de maíz (CGM) y CO ₂
Trituración seca	Etanol	Granos secos de destilería con solubles (DDGS), CO ₂
Trituración seca Modificado	Etanol	Granos secos de destilería con solubles (DDGS), CO ₂ , aceite de maíz, fibra dietética.
Molienda seca	Hojuelas de maíz	Sólidos de mosto, harina y sémola de maíz y cascarilla.

Cuadro 3.7. Coproductos y subproductos según proceso de refinado (Raush, 2006)

Proceso	Rendimiento de productos y Coproductos
Molienda Húmeda	750 L Etanol o 562.6 kg Almidón o 589.4 kg HFCS y 26.8 kg Aceite de maíz, 221.5 kg gluten de maíz (CGF), 53.6 kg gluten de maíz (CGM)
Trituración seca	805 L Etanol 286 kg Granos secos de destilería con solubles (DDGS)
Trituración seca Modificado	750 L Etanol 60.7 kg germen 139.3 kg. Granos secos de destilería con solubles (DDGS) 67.9 kg fibra dietética.
Molienda seca	120 kg Hojuelas de maíz 380 kg Sólidos de mosto 60 kg harina y sémola de maíz 350 kg de piensos de maíz

En la producción de etanol, la comercialización de coproductos añade valor a la transformación. Los ingresos provenientes de la comercialización compensan gran parte del costo de la producción de etanol, la comercialización de ambos productos refleja los intereses de los procesadores de etanol y del usuario final (los productores de animales dentro del cinturón de maíz). Debido a que el etanol es el producto primario, la oferta y la demanda del mismo en el mercado doméstico pueden tener un gran impacto en los precios de los coproductos, y la economía de la transformación, durante largos períodos de tiempo, puede verse afectada por una serie de factores

como el precio de otros ingredientes de la dieta animal como la soya; pero el mayor contenido de proteínas de los coproductos hace que estos tengan un precio más elevado que el maíz y la soya mismos. En el futuro, esta tendencia puede ser modificada si la cantidad de maíz procesado en etanol continúa aumentando; así la oferta de coproductos necesariamente aumentará, lo que presionaría a la baja el valor de mercado de estos. Para mantener la estabilidad económica, será necesario ampliar los mercados de coproductos hacia la exportación.

Sin embargo, según Raush, (2006), existen varios inconvenientes que deben superarse para incrementar el mercado de coproductos del refinado de maíz, debido a que estos son una parte inherente del procesamiento de maíz e históricamente no han recibido la misma atención en el desarrollo de productos primarios como el etanol, el almidón y los HFCS. Como resultado, presentan valor bajo de mercado y costos altos de procesamiento y por lo general se comercializan como ingredientes alimenticios, especialmente para dietas de rumiantes. El crecimiento en el procesamiento de maíz, debido a los incrementos recientes en la producción de etanol, ha provocado un crecimiento proporcional en la salida de coproductos. Los factores que mantienen a la baja el valor de ellos, incluyen a la oferta y la demanda, y a la generación de gases de efecto invernadero (Kim and Dale, 2009), la variación de su composición nutricional para los rumiantes y no rumiantes, y su manipulación y almacenamiento con seguridad y eficacia. Por lo anterior, existe la necesidad de identificar y desarrollar tecnologías que permitan hacer frente a estas cuestiones y mejorar la viabilidad económica de la producción de etanol.

3.4.3. Agroindustria de la Soya

La soya (*Glycine max*) es una planta de la familia de las fabáceas, crece a una altura de 120-180 cm y se cultiva en más de 50 países y se caracteriza por el alto valor proteínico de su semilla; a menudo se le denomina “el cultivo milagro” debido a sus múltiples usos. Su composición promedio es de 40% de proteínas, 20% de aceite, 35% de carbohidratos, y 5% de cenizas sobre base de peso seco. Cada componente se ve afectado por el ambiente de crecimiento del cultivo y por el genotipo. Una bolsa de 50 kg de soya produce 40 kg de harina rica en proteínas y de 9 kg de aceite. La soya es rica en ácidos grasos insaturados, oleico, linoleico, y linoléico que constituyen el 85% del aceite. La soya es una buena fuente de minerales, vitaminas del complejo B, ácido fólico, y de isoflavonas, que se acreditan con la prevención del cáncer, del desarrollo de enfermedades del corazón y de la osteoporosis (Lee, 2007). La proteína se utiliza principalmente para la alimentación del ganado (Romani, 2008) después de la molienda de las semillas y de la extracción del aceite, el cual se utiliza principalmente para el consumo industrial (Dalgaard, 2008 y Olhoft, 2007). Presumiblemente, originaria de China, se difundió hacia el “occidente” gracias a los estudios de George Washington Carver, quien valoró el uso de la soya como alimento además de planear la utilización de los derivados de la soya para producir plásticos y combustibles (en especial biodiesel) (Kim and Dale, 2009). En Estados Unidos los tres productos principales de la soya son aceite, pasta y harina, de los cuales se derivan numerosos subproductos de aplicación agroindustrial (Figura 3.5).

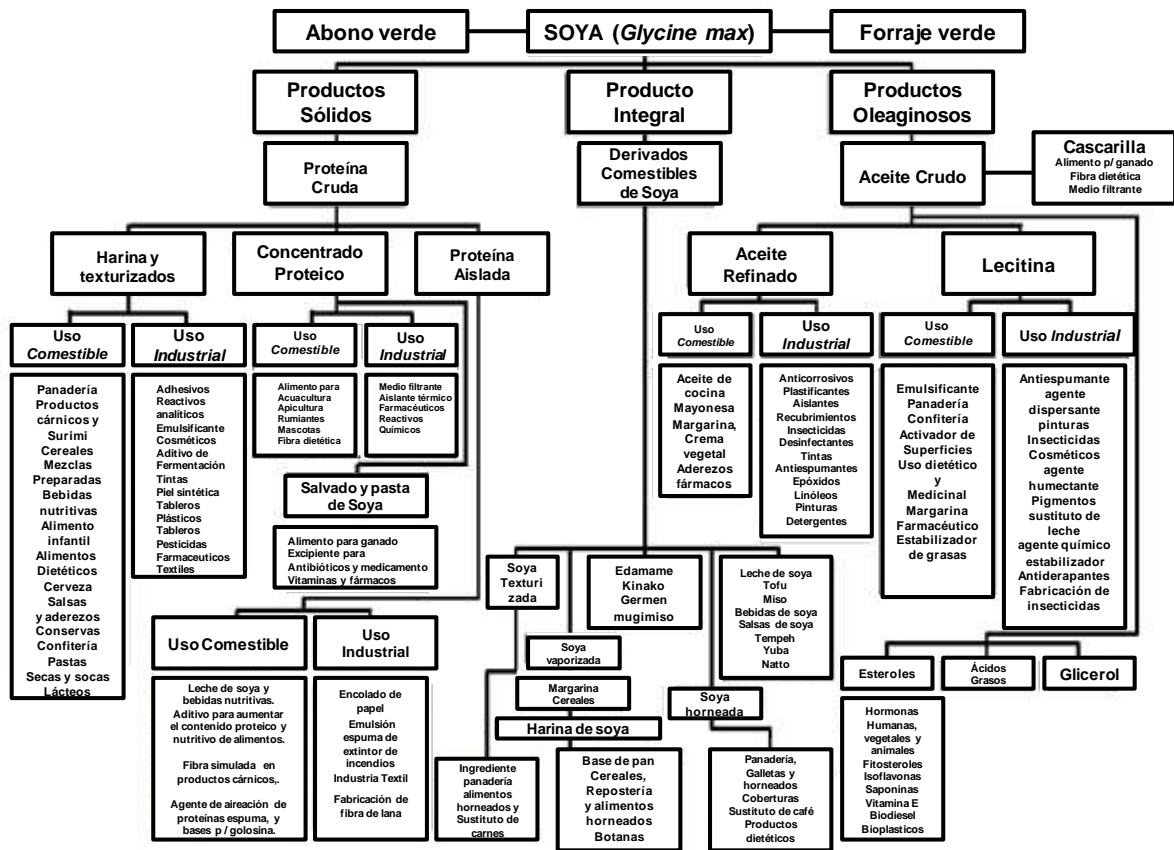


Figura 3.5. Derivados de la soya (Wilson, 2008, Kim and Dale, 2009, Silva, 2006)

La producción mundial de soya se ha duplicado desde 1985, mediante el aumento de los rendimientos por unidad de área y por el aumento la superficie total cultivada. Cantidades importantes de soya se negocian en los mercados mundiales y, por lo tanto, el cultivo contribuye significativamente a la economía mundial. La escala mundial de producción de soya y la importancia económica de su cosecha se basan en los esfuerzos de investigación de la industria privada y pública, los cuales se han dirigido hacia la mejora de cultivos, manejo y producción de soya y sus derivados. El fitomejoramiento convencional ha sido y seguirá siendo el pilar de la agroindustria de la soya (Olhoft, 2007). La producción mundial está concentrada en Estados Unidos, Brasil y Argentina, quienes juntos constituyen aproximadamente el 90% de la oferta mundial; estos países productores son también los principales exportadores y poseen un alto nivel competitivo internacional (Cuadro 3.8). Los principales importadores son: China, los países de la Unión Europea, Japón y México, entre otros (Subirana, 2008, Hymowitz, 1970).

Cuadro 3.8. Competitividad internacional de la agroindustria de la soya (Giovanetti, 2007)

Factor de Competitividad		Estados Unidos	Brasil	Argentina	
Recursos Naturales					
Suelo/Clima		2,94	2,78	3,16	
Disponibilidad de áreas cultivables		1,82	3,77	1,94	
Nivel tecnológico					
Producción rural		3,59	2,76	2,89	
Industria procesadora		3,52	2,76	2,94	
Mano de Obra					
Calidad		3,31	2,69	2,88	
Costo		2,12	3,13	2,78	
Mercado Interno					
Tamaño		3,77	3,39	1,83	
Potencial de crecimiento		2,50	3,44	2,19	
Factores sistémicos					
Infraestructura logística		3,94	2,24	2,78	
Restricciones tributarias		3,60	2,16	3,11	
Restricciones financieras		3,83	2,22	2,83	
Coordinación dentro del cluster		3,39	2,67	2,83	
Criterio de Evaluación		1 Malo Altamente restrictivo	2 Regular Medianamente restrictivo	3 Bueno Poco restrictivo	4 Óptimo Sin Restricción

3.4.4. Molienda de soya

El proceso de industrialización de la soya comienza con la trituración y extracción de aceite. Después de pasar por el proceso de secado para eliminar la humedad y para la limpieza del grano, este se rompe y aprieta en pequeños copos que se convierten en masa y se lavan con solventes derivados del petróleo (hexano). Después, la separación del aceite se hace por evaporación, este proceso también ofrece un sistema de extracción de la goma (desgomado) para llegar a la etapa de aceite crudo. El subproducto después del secado y tostado, es una masa cocida que puede ser utilizada para la producción de lecitina de soya y otros derivados (Kim and Dale, 2009, Silva, 2006). Este es el método utilizado por prácticamente todas las unidades productivas en Estados Unidos, Brasil, Argentina y otros. Al comienzo del proceso industrial se puede eliminar la cascarilla, lo que produce una mayor cantidad de proteína de soya. Los subproductos de la refinación de aceite entran en la alimentación animal, a través de las mezclas realizadas por las fábricas de piensos. El rendimiento medio de grano es de 79% de salvado y 19,8% de aceite crudo. La agroindustria de la soya en Estados Unidos se ha basado en la estrategia competitiva alrededor de dos líneas estratégicas en el procesamiento de la soya y en la obtención de subproductos alimentarios, industriales y energéticos (biodiesel): el liderazgo en costos y la diferenciación de productos. Estas directrices estratégicas se describen por el tipo de mercado en el que opera la empresa y por la definición de acciones específicas para obtener competitividad (Cuadros 3.9 y 3.10)

Cuadro 3.9. Líneas estratégicas en la industria de la transformación de la soya

Acciones de competitividad	Liderazgo en costos	Diferenciación
Características del mercado o producto	-Pocos aspectos posibles de diferenciación -Elección impulsada por el precio -Importancia de los mercados industriales	Demanda menos elástica - Los productos de mayor valor añadido - Atributos de calidad específicos - Los mercados de consumo final
Productos	Materias primas: cereales, salvado, aceite crudo, aceite refinado a granel, etc.	Productos elaborados: crema vegetal, margarina vegetal, mayonesa, aceites diferenciados etc.
Acciones estratégicas	- Búsqueda de economías de escala - Capacidad instalada potencial - Logística eficiente - Eficiencia financiera - Innovación de procesos	- Segmentación del mercado - Promoción (importancia de la marca) - La innovación de productos

Cuadro 3.10. Balance de soya y derivados (t) (USDA, 2009)

Semilla de Soya				
Año	Uso industrial	Exportación	Semilla	Total
2007/2008	66 242	42 581	3453	112,276
2008/2009	61 061	47 137	6528	114,726
2009/2010	62 674	48 627	6430	117,731
Aceite de soya				
Año	Uso industrial	Biodiesel	Exportación	Total
2007/2008	18 334	3245	2911	24,490
2008/2009	16 339	1904	2250	20,493
2009/2010	16 500	2200	3250	21,950
Pasta de soya				
Año	Uso industrial	Exportación	Importación	Total
2007/2008	33 232	9242	141	42,615
2008/2009	30 757	8500	90	39,347
2009/2010	30 800	9600	140	40,540

Los niveles futuros de exportación de soya probablemente se verán reducidos por la necesidad de un mayor uso doméstico. Ya hay indicios de transición hacia una mayor producción y comercio de aceite vegetal refinado y de harina de soya entre los países productores. En la actualidad, los EE.UU. consumen el 95% de su producción nacional de aceite de soya debido al creciente mercado de biodiesel (Kim and Dale, 2009).

En EE. UU., la perspectiva a futuro predice un déficit en la producción de soya, aceite y harina debido al programa nacional de reducción de la dependencia de petróleo y combustibles fósiles. Se estima que, aproximadamente, el 30% de la cosecha de maíz de EE. UU. Se puede convertir a la producción de etanol en 2010, y entre 23-25% de la producción anual de aceite de soya en biodiesel. La fuerte demanda de la producción de etanol favorecerá futuros incrementos en la superficie cultivada de maíz en

detrimento de la soya. Así, el impacto de las alternativas derivadas de la bioenergía se relaciona con la capacidad de investigación tecnológica para proporcionar un suministro adecuado de productos de soya; este es un problema grave que debe ser abordado por los centros de investigación (Wilson, 2008).

3.4.5. Agroindustria de maíz y soya en Estados Unidos de América

Luego de experimentar el impulso productivo que supuso la Revolución Verde a partir de los años cincuenta, el campo de los Estados Unidos vivió una de sus épocas de mayor auge, lo que les permitió comandar gran parte de la producción agrícola mundial, especialmente de granos, actuando como regulador de la producción, almacenador, distribuidor y, desde luego, como fijador de los precios de estos productos a escala internacional; sus planteamientos se basan en los conceptos: *Agribusiness*, *Cluster* y *Trade-Led Agricultural Diversification*²⁵ que son estructurados por la dinámica del consumidor final (Figura 3.6).

²⁵ La competitividad del *Agribusiness* se logra a través del liderazgo en costos/diferenciación de productos. Más específicamente tecnología, insumos específicos, economía agrícola y de la producción, diferenciación de productos, y conocimiento de mercados y se enfatiza sobre el cambio de orientación de la actividad productiva y del proceso de innovación tecnológica desde una concepción de empuje tecnológico ("*technology push*") a una demanda tecnológica ("*demand pull*"). Esto implica una transformación en el modelo de investigación de las instituciones de generación de tecnología, ya que se requieren orientaciones desde la demanda como elemento fundamental para dar prioridad a áreas de I+D. De esto se deriva el concepto de *Cluster*. Porter, (1990) lo define como concentraciones geográficas de empresas interconectadas, proveedores y servicios especializados, instituciones asociadas en un campo particular, que están presentes en una nación o una región. Es decir, son agrupaciones de alta coordinación y mutua mejora en ámbitos de interés común o redes de empresas, y otras organizaciones incluidas las de investigación, institutos, universidades, entidades financieras y agencias del sector público, que se caracterizan por altos niveles de competencia y colaboración dentro de lo que Porter denomina "*Análisis de la cadena de suministro*" (o *análisis de la cadena de valor añadido*) e indica la importancia de la competitividad de cada elemento o actividad en la cadena de valor. Por otra parte, el *Agribusiness* de Estados Unidos se está reestructurado bajo el modelo: *Trade-Led Agricultural Diversification (T-LAD)* (*Diversificación agrícola impulsada por el comercio*). Esta diversificación de las empresas se ha producido al grado en que se han fomentado al menos uno de los siguientes procesos en el sector rural particularmente en el cinturón de maíz y soya: (1) un aumento en la productividad y/o en el valor del subsector de granos básicos; (2) el cambio necesario para pasar de granos básicos tradicionales a otros productos alimenticios (maíz, soya, trigo, algodón y ganado); (3) un mayor valor de los cultivos tradicionales y (4) la expansión de líneas de productos a lo largo de las diversas condiciones agro-climáticas de los cultivos, al mejorar la infraestructura, fortalecer las instituciones, desarrollar el capital humano, desarrollar y diseminar tecnologías, etc. (USAID, 2008)

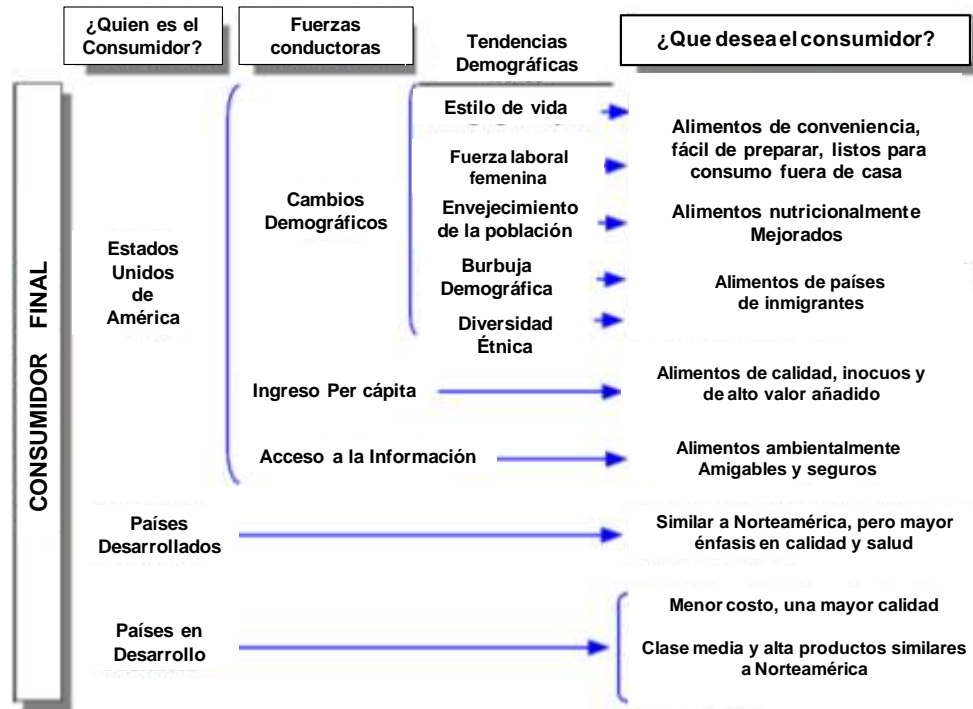


Figura 3.6. Dinámica de consumo de alimentos (U.S. Corn Mass Industry, 2003)

El paso a sistemas agrícolas especializados se ha hecho evidente en el cinturón de maíz y soya del Medio Oeste: Ohio, Indiana, Illinois, Iowa, Wisconsin y Minnesota, Arkansas, Kentucky, Louisiana, Mississippi y Tennessee. (Hymowitz, 1970)

Desde 1945, se redujo el número de cabezas de ganado en un 52% en el cinturón de maíz norteamericano, mientras que la superficie con trigo (*Triticum aestivum* L.) y avena (*Avena sativa* L.), se redujo en un 60 y un 97%, respectivamente; en sentido contrario, la superficie de maíz y soya aumento 29 y 80%, respectivamente (especialización). Actualmente, ambos cultivos ocupan el 85% de la superficie sembrada. Aproximadamente el 20% del maíz (*Zea mays* L.) se cultiva en monocultivo continuo, y casi el total restante se cultiva en rotación bienal con soya (*Glycine max* (L.) Merr.).

La introducción de fertilizantes químicos (especialmente N), plaguicidas sintéticos, mecanización, y el desarrollo de cultivos dentro de un número limitado de productos básicos han sido citados como contribuyentes a la reducción de rotaciones de cultivos en la agricultura de los Estados Unidos. Los agricultores se han beneficiado de las economías de escala y de la especialización en la producción y comercialización, mismas que son posibles cuando los sistemas agrícolas se concentran en uno o dos cultivos. En estos sistemas, la especificidad y los subsidios son característicos de la política agrícola. La especialización se ha favorecido a través de la reducción de los riesgos derivados de la agricultura tradicional de bajos insumos.

Los rendimientos por hectárea de maíz y soya en los Estados Unidos han aumentado significativamente desde el año 2000. La producción de maíz casi se triplicó y los rendimientos de trigo y de soya prácticamente se han duplicado durante el último medio siglo (Sassenrath, 2008). Esto se debe a la introducción de semillas modificadas genéticamente así como el clima óptimo para su cultivo. Además, la eficiencia energética en la agricultura ha aumentado con las tecnologías avanzadas en la gestión agrícola, tales como sistemas de posicionamiento global (GPS), la adopción de novedosos sistemas de labranza en las prácticas agrícolas y de conservación, de fertilizantes de liberación lenta, la cartografía y agricultura de precisión y la mejora de los sistemas de riego y mecanización. El seguimiento de mapas de rendimiento con el GPS, ha mejorado la tasa de aplicación de sustancias nutrientes y productos químicos para el maíz y otros cultivos. La nueva maquinaria agrícola y los nuevos sistemas de riego también han aumentado la productividad de la agricultura (Sulc, 2007).

La diversificación de las operaciones de la agricultura en el cinturón de maíz y soya de Estados Unidos se fomenta desde un punto de vista práctico en dos escalas básicas: (i) en espacios separados, la integración de los cultivos y explotaciones ganaderas a través de los contratos y las asociaciones, y (ii) la integración espacial y temporal de cultivos y rumiantes dentro de las empresas. Además, la incorporación de los coproductos de la refinación del maíz y soya en la alimentación de rumiantes y no rumiantes podría ser una opción viable para aliviar muchos de los problemas que se documentan en los sistemas actuales de producción agrícola en el cinturón de maíz y soya.

Los sistemas de cultivo y ganadería, que están espacial y temporalmente integrados, lo hacen a través de diversas combinaciones: (i) rotación de cultivos de grano con pasturas perennes, (ii) rotaciones cortas entre cultivos anuales de grano y pastizales de ciclo corto, y (iii) utilización de los residuos de la cosecha de granos y leguminosas para el pastoreo de ganado, suplementado con coproductos de la refinación de maíz y soya (Russelle et al., 2007).

Morrison (2002) estableció que la diversificación en el cinturón de maíz y soya es un factor importante que explica las diferencias en el nivel y la variabilidad de los ingresos de las pequeñas explotaciones agrícolas frente a las grandes que canalizan su producción a las refinerías de maíz (almidón, HFCS, etanol etc) y a las aceiteras de soya y biodiesel. Las pequeñas explotaciones financieramente exitosas tienden a ser más diversificadas. El autor también señala que la producción de cultivos múltiples es mayor para las unidades productivas de mayores ventas en el cinturón de maíz y soya, y afecta a la diversificación del ingreso así como a los resultados económicos esperados; también parecen estar cada vez más influenciados por la complementariedad de los insumos agrícolas (tales como semillas, pesticidas y mano de obra o la maquinaria dedicada a la labranza), transgénicos, bajo el concepto de biorefinería (Figuras 3.7 y 3.8).

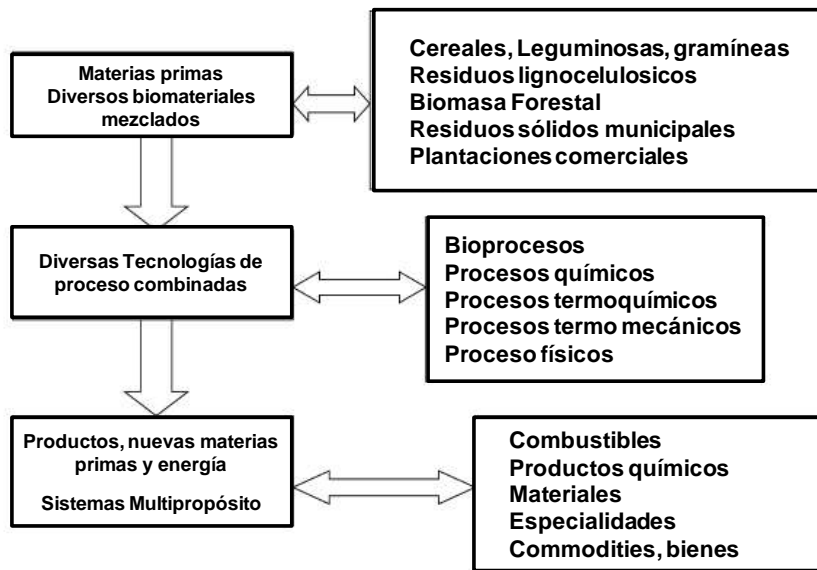


Figura 3.7. Principios básicos de una biorefinería (Kamm, 2004)

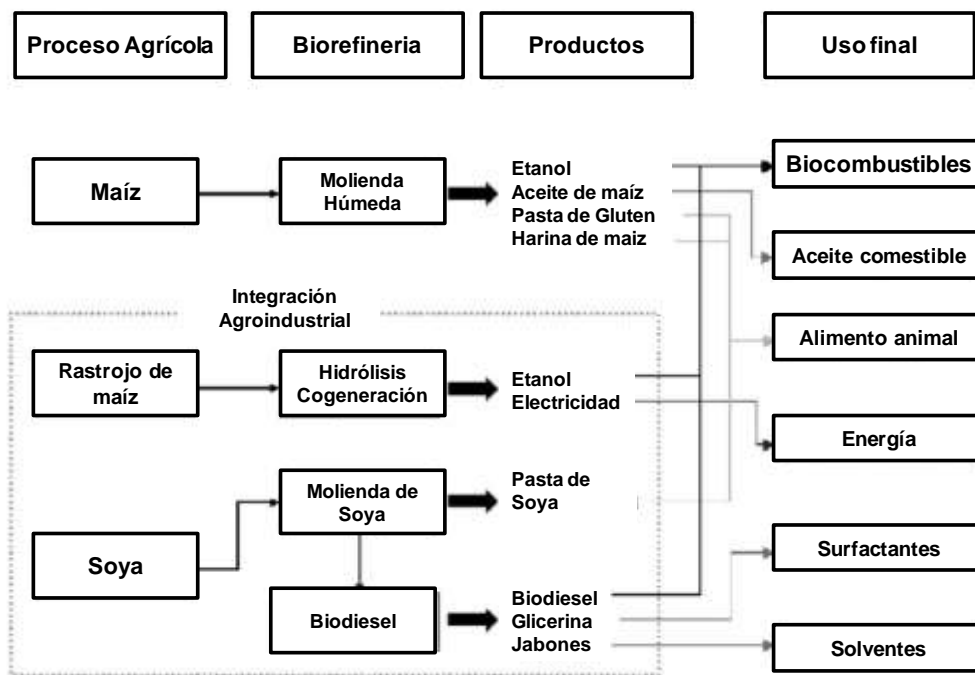


Figura 3.8. Biorefinería de maíz y soya (Kim, 2005)

Los sistemas de producción del cinturón de maíz y soya cada vez tienen mayor presencia en los mercados agrícolas debido a la amplia gama de productos e insumos derivados de ellos; por tanto, en los estados para los cuales el maíz y soya son los principales componentes de la producción agrícola, la diversificación de los productos en términos de producción conjunta y de los sistemas de producción, se está llevando a

cabo mediante una combinación de cultivos y productos animales (productos lácteos, ganado) alimentados con coproductos, que demanda el mercado (Drabenstott, 2000).

El aumento de la productividad o del rendimiento económico está representado por la expansión de la producción global del maíz y de otros cultivos. Por otra parte, la adopción de sistemas diversificados está en función de factores como la edad, la educación, deudas de los productores, tamaño y tipología de la unidad productiva, escala económica, tipo de cultivos existentes (maíz, soya y otros cultivos), insumos (labor, combustibles, fertilizantes, herbicidas, semillas, maquinaria) y el mercado objetivo (local, regional, nacional, exportación)

Por lo tanto, el factor clave en la salud y la solidez económica de la agroindustria del maíz y soya de Estados Unidos es la diversificación de la oferta de sus productos y coproductos: maíz, soya y otras coproducciones y la biorefinería en el sector industrial. Si bajara la demanda, ya sea de edulcorantes de maíz o de los productos alimentarios de soya, la diversificación de los productos, tendería hacia otros productos de fermentación y/o bioproductos (etanol, ácidos orgánicos, aminoácidos, polioles, trehalosa, y ácido poliláctico) así como hacia la obtención de productos nuevos; la producción de soya se orientaría hacia el biodiesel. Todo esto pareciera augurar la promesa, por lo menos, de una nueva era en la industria. Los refinadores de maíz y soya seguirán esta evolución dinámica del producto mediante la combinación de tecnologías arraigadas en la historia de la industria con las nuevas tecnologías externas a la industria para crear nuevos mercados y una mayor diversidad de productos (Erickson, 2004).

3.4.6. El sistema agroindustrial caña de azúcar de Brasil

El “complejo sucro-agroindustrial” presenta diversas aplicaciones dentro de la cadena de valor y competitividad (Cuadro 3.11 y Figura 3.9); líder a nivel mundial, está estructurado entre tres líneas de productos: azúcar, etanol y subproductos.

Cuadro 3.11. Desarrollo agro-industrial de la caña de azúcar (Sigh, 1995)

Sector de la economía	Productos de valor agregado derivados de la caña de azúcar
Alimentación	Edulcorantes (sacarosa y derivados no calóricos), vitaminas, aminoácidos, bebidas, grasas, proteína comestible
Salud	Químicos, antibióticos, enzimas, productos especializados
Productos para la agricultura y ganadería	Forrajes, piensos, abonos, fertilizantes, acolchados, fijador de nitrógeno, insecticidas y biofungicidas biológicos
Industria	Solventes, plásticos, derivados del etanol (alcohoquímica), anticorrosivos, tensoactivos, biocidas, derivados furánicos
Energía	Cogeneración, gasificación, pirolisis, biogás, briquetas
Transporte	Gasohol, biodiesel, biogás, BioOil
Educación y cultura	Papel periódico, escritura, cartones, libro de texto.
Vivienda y construcción	Tableros, moldeados, composites
Industria ligera	Textiles, sucroquímica, carbones, derivados de celulosa
Comunicaciones	Materiales aislantes
Industria pesada	BioOil, resinas, composites, aglomerados bagazo/cemento
Desarrollo humano	Generación de empleo en áreas rurales

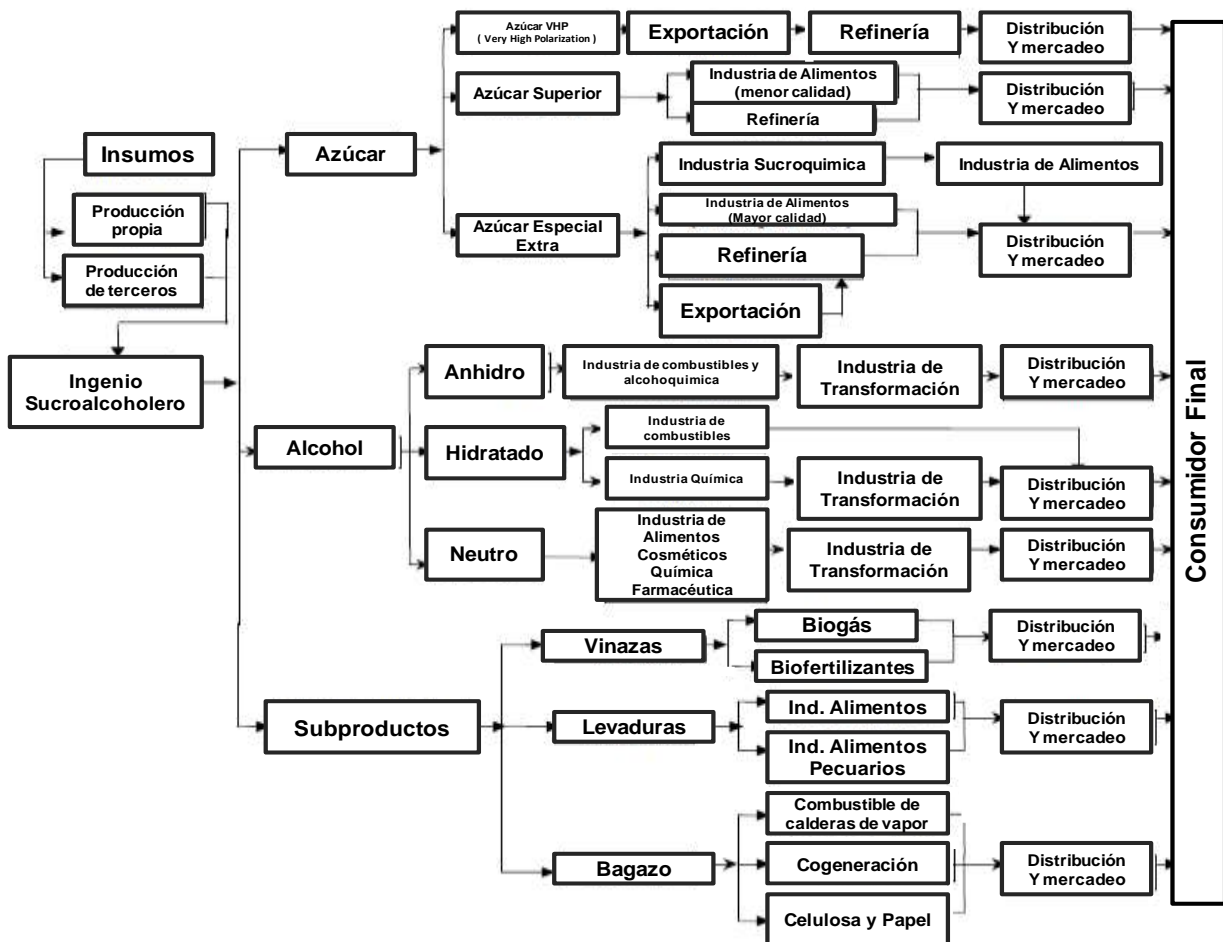


Figura 3.9. Sistema agroindustrial sucroalcoholero (Meirelles de Souza, 2008, Neves, 2007, De Freitas Vian 2005)

Azúcar. Se extrae a partir del jugo resultante de la trituración de la caña de azúcar, después de las operaciones unitarias en el ingenio sucroalcoholero (La planta industrial dedicada al procesamiento, transformación e industrialización de la caña de azúcar) se generan varios tipos de azúcar con diferentes destinos para el consumidor final (refinerías), los diversos segmentos industriales de alimentos y bebidas (Cachaça) (cada uno con diverso valor de mercado) las empresas de comercio y el canal de exportación. El sector sucroquímica (química de la sacarosa) extrae de la sacarosa productos diversos como: glucosa fructosa, glicerina, ácidos orgánicos, sorbitol y sucralosa, entre otros. Por medio de tecnología de fermentaciones (biotecnología), se obtienen: acetona, antibióticos (penicilina, tetraciclina), enzimas industriales (amilasa, proteasa), vitaminas (C, B₂, B₁₂), aminoácidos (lisina, fenilalanina) y los insumos para la agricultura orgánica (insecticidas y fertilizantes).

Etanol. Se obtiene a partir de la fermentación del jugo de caña de azúcar o melazas, sometidos posteriormente a destilación. Son básicamente tres tipos: neutro, utilizado en la preparación de bebidas, cosméticos y productos farmacéuticos. Hidratado (96 GL),

utilizado para el consumo directo en los automóviles y la industria química, y, anhídrido (99,5 GL) que se añade a la gasolina a una proporción de 24%. Los derivados del alcohol son los productos de la química del alcohol (alcohoquímica), especialmente de los grupos: deshidratado (etilenos) y dehidro (acetaldehído).

Subproductos: Bagazo derivado de la molienda de caña de azúcar. Es utilizado como combustible en unidades de generación de vapor (calderas), para mover turbinas y generar electricidad, energía utilizada en el proceso de producción de azúcar y etanol así como en la red eléctrica pública. El bagazo también se usa en las calderas de las industrias de cítricos, pulpa y papel y otros. Genera celulosa para papel y se utiliza en la alimentación animal. Los residuos de cosecha (hojas y cogollos) son empleados en la alimentación animal y en la generación de energía. La vinaza, residuo de la destilación, es usada como fertilizante en el riego de cultivos junto con la cachaza, y la levadura es utilizada como insumo en la industria alimentaria y de la industria de la alimentación animal. También se encuentran integradas las producciones de sucroquímica y alcohoquímica. Las aguas residuales se emplean en la generación de biogás y fertirrigación.

Este sistema o complejo agroindustrial²⁶ es altamente competitivo y está basado en el mercado y se ha apoyado en el cambio estructural y en el comportamiento de los factores de producción tales como capital, mano de obra, la tierra y la tecnología. Estas transformaciones se orientaron políticamente, ya que el Estado ha logrado explotar sus ventajas comparativas y competitivas en el mercado internacional. La agricultura brasileña se ha enfrentado a la constante necesidad de ajuste y revisión de sus procesos de producción para que las empresas puedan permanecer en los mercados (Amaral, 2003). El cambio más significativo se da en la producción agrícola mediante la

²⁶ En Brasil la definición de complejo o sistema agroindustrial se vincula a la primera noción de complejo que ocurrió con el concepto de agronegocios (propuesto por J. Davis y R. Gondelberg, 1957), y Filière (propuesto por L. Malassis, 1973). Sin embargo, la mayor contribución para la construcción del concepto de Complejo Agroindustrial en Brasil, fue sin duda el de Geraldo Müller (1982) inspirado en las nociones de la agroindustria y el complejo de Filière, desarrollo su enfoque de *Macro Complejo Agroindustrial*. Parte de la opinión de que para sostener la industrialización del país, la agricultura imprime la dirección ya que esta es una condición previa para la acumulación de bienes de capital en la industria destacado la interdependencia intersectorial que se refleja en la estructura y la dinámica del sector agrícola (transformaciones técnico-económicas) y también en la estructura social. La industrialización de la agricultura implica necesariamente la interdependencia de la producción agrícola en relación con las limitaciones naturales (reproducción de la fertilidad del suelo, reducción de tiempo de producción gracias a la utilización de los conocimientos de la ingeniería genética) y la destreza del trabajo humano (empleo de maquinaria, herramientas, herbicidas). Definió al complejo agroindustrial brasileño como el conjunto de procesos técnico-económicos, socio-políticos, que implican la transformación, la producción de bienes industriales para la agricultura y los servicios financieros relacionados y en este sentido el autor propone el concepto de Complejo Agroindustrial como una unidad de análisis de los cambios en el sector agrícola y utiliza la agricultura como unidad central de análisis de los derechos económicos, sociales y políticos de la industrialización del país, teniendo en cuenta los tres segmentos que componen el complejo agroindustrial e insiste en tomar a la agricultura en la dinámica del capital industrial y financiero. Posteriormente Hagenauer (1984), menciona que la dimensión tecnológica debe abordarse en la construcción del complejo industrial, porque la tecnología es el factor decisivo en la formación y transformación de los polígonos industriales y las relaciones técnicas, definiendo procesos y estableciendo industrias que están vinculadas entre sí.

adopción de la mecanización de la cosecha de caña y otras operaciones (siembra y cultivo). El costo relativo es menor debido al aumento de la productividad, a la reducción en el costo de la cosecha y del transporte, y al incremento en la calidad de la materia prima. Esto requirió del desarrollo de innovaciones en los procesos de gestión de estas actividades mediante inversión y mejora de la capacidad técnica y de gestión para hacer los cambios necesarios.

El proceso de industrialización de la caña pasó por tres fases distintas, definidas por el Programa Nacional de Alcohol (PROALCOOL). La primera fase (1975 a 1979) se caracterizó por un crecimiento moderado, en la que se priorizó la supervivencia de la agroindustria por defecto, haciendo hincapié en la producción de alcohol anhidro (para mezclar con la gasolina). La segunda fase (1980 a 1985) se caracterizó por la expansión acelerada, con hincapié en la producción de alcohol hidratado (etanol 96 GL) el fomento al uso de vehículos que funcionan con etanol y la producción domestica de vehículos de combustible flexible. La tercera fase (1986 a 1995) se caracterizó por la desaceleración y el programa de crisis, en que la industria sufrió un proceso de la desregulación del Estado (Shikida, 1998). En todos los períodos fue fundamental el papel de las políticas sectoriales, es decir, el entorno institucional, como determinante de la dinámica del sistema de producción. Este proceso generó una revolución en la dinámica competitiva del sistema agroindustrial de la caña de azúcar causando una gran diversificación de la producción, la diferenciación del producto final y un proceso técnico de descentralización pero que aún tiene temas pendientes hacia la competitividad (Cuadros 3.12 al 3.14)

Cuadro 3.12. Estrategias competitivas del sistema agroindustrial de caña de azúcar (Vian, 2003)

Estrategia	Acciones
Especialización en la producción de azúcar y etanol	Automatización del procesos industriales Normalización de la producción y programas de calidad Mecanización de la agricultura Mejora en la logística de transporte Transferencia de unidades de producción a áreas agrícolas mecanizables Subcontratación agrícola e industrial
Diferenciación de productos	Nuevas marcas de azúcar refinado Embalajes de diversos tamaños Envases desechables Azucars bajos en calorías Azúcar líquido Azúcar cristal y tipo especial Azúcar orgánico
Diversificación productiva (producciones con sinergia a la caña de azúcar)	Destilerías que se convierten a ingenios sucroalcoholeros Cogeneración de energía eléctrica Producción de jugo de naranja Estabulación de ganado bovino (carne y leche) Producción de ciclamatos de jugo de caña Sucroquímica
Fusiones y adquisiciones	Fusión por sinergia productiva Adquisiciones para expansión y entrada a nuevas regiones
Grupos de comercialización de azúcar y etanol	Estructuración de sistemas comunes de comercialización de azúcar o etanol Asociaciones de exportadores de etanol y azúcar
Materias primas	Caña de azúcar Soya Productos forestales Residuos y subproductos agroindustriales
Investigación y Desarrollo de nuevos procesos	Fermentación Digestión anaerobia Pirólisis Reacción química Gasificación Combustión Hidrólisis ácida y enzimática

Cuadro 3.13. Ambiente institucional del sistema agroindustrial de caña de azúcar (Meirelles de Souza, 2008)

Marco regulatorio	Efecto en la competitividad del sector
Desregulación de la agroindustria al final de la década de 1990	Alentó el crecimiento de la eficiencia productiva, difusión tecnológica y la adopción de herramientas de gestión en los ingenios sucroalcoholeros.
Leyes del estado de San Pablo	Impuso procedimientos para disminuir la cosecha de caña por el sistema de quemas. La ley alentó la mecanización, la reducción de costos y la calidad de la caña.
Programa MODERFROTA (Programa de Modernización de la Flota de Tractores Agrícolas y Cosechadoras)	Impulsó la mecanización agrícola y la logística, permitió la renovación tecnológica con el financiamiento.
Programa de crédito para la adopción de sistemas de información tecnológica	Estimuló la adquisición de sistemas integrados de procesos de manejo, producción y distribución.
Institutos de investigación agronómica y agro-negocios	Son el soporte de investigación y entrenamiento para la producción agrícola e industrial y la mecanización de operaciones de plantación y cosecha.

Cuadro 3.14. Pendientes del sistema agroindustrial de caña de azúcar (De Freitas, 2005)

Desafíos	Agentes		
	Instituciones	Centros de investigación	Otros agentes
Reducir la heterogeneidad tecnológica en la producción agrícola e industrial	Gobiernos federal y estatales	COPERSUCAR, Universidades IPT	UNICA (Associação das Indústrias de Cana de Açúcar, Brasil)
Matriz energética nacional	ANP	Universidades, armadoras de autos, distribuidores de energía	UNICA
Reconversión productiva de tierras sembradas con caña	Gobiernos federal y estatales	EMBRAPA, Universidades, Sindicatos	UNICA
Calidad de productos finales	Gobiernos federal y estatales, sector privado	Universidades, centros privados	Consortio de comercializadores
Segmentación de mercados hacia nichos de alto valor agregado	Gobiernos federal y estatales, sector privado	Universidades, centros privados	Consortio de comercializadores
Legislación ambiental	Gobiernos federal y estatales, sector privado	EMBRAPA, IPT; INPE	Consortio de comercializadores
Recolocación de mano de obra liberada por la mecanización	Gobiernos federal y estatales, sector privado	Universidades, centros privados	Consortio de comercializadores
Generación de empleos	Gobiernos federal y estatales, sector privado	Universidades, centros privados	Consortio de comercializadores
Reducción de la estacionalidad productiva	Gobiernos federal y estatales, sector privado	Universidades, centros privados	Consortio de comercializadores
Control de competencia	CADE	Universidades, centros privados	Consortio de comercializadores

El programa de bioenergía de Brasil, como política pública en materia de I + D establece que la bioenergía es guiada por el "Plan de agro energía de Brasil 2006-2011", elaborado por el Ministerio de Agricultura con una fuerte sinergia con las instituciones privadas en I + D (Cuadro 3.14). El programa asigna inversiones en I + D para desarrollar, materias primas y procesos, logística y modelos de negocio bajo el concepto de biorefinería para generar calor, energía y biocombustibles (Figura 3.10). Esta nueva etapa de la caña de azúcar en Brasil mediante sistemas de innovación agrícola, industrial y de gestión es responsable de volver a tomar el liderazgo del mercado internacional (Cuadros 3.15 y 3.16).

Cuadro 3.15. Sinergia de investigación en Brasil (FINPRO, 2008)

Compañía Universidad	Investigaciones en desarrollo	Compañía Universidad	Investigaciones en desarrollo
PHB Industrial S/A (Biocycle)	Biotecnología y aplicaciones de Biopolímeros	Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP	Agricultura de precisión
Braskem S/A	Innovación y nuevas tecnologías en polímeros y biopolímeros	Oxiteno S/A Industria e Comercio	Biorefinería químicos y energía de materiales lignocelulósicos
Canavialis S/A	Mejoramiento genético y desarrollo de variedades de caña de azúcar	Parque de Desenvolvimento Tecnológico (PADETEC)	Alimentos y suplementos funcionales, energías alternativas biocombustibles biotecnología, biopolímeros, composites,
Centro de Tecnologia Canavieira - CTC	Biocombustibles Tecnología de azúcar y etanol cogeneración	Polymar Ciência e Nutrição S/A	Productos naturales, biopolímeros biocombustibles biorefinería
Dedini S/A – Industria de Base	Biocombustibles de 2da generación	Suzano Papel e Celulose S/A	Productos forestales
Dow Brasil S/A	Bioplásticos Biorefinería	Unicamp – Faculty of Chemical Engineering	Biorefinerías
Embrapa Agroenergia	Etanol, biodiesel, Bosques energéticos uso de biomasa	COPERSUCAR	Agricultura de precisión, tecnología de azúcar y etanol

Cuadro 3.16. Panorama general del sector sucroalcoholero de Brasil Zafra 2009/2010 (Fava Neves, 2010)

Valor de la producción	\$ 28,000,000 000 (US)
Generación de ingresos	PIB Brasil: US\$ 900 billones (100%) PIB Agro negocios: US\$ 250 billones (28%) (100%) PIB Cana: US\$ 68 billones (7,5%) (27%)
Generación de empleos	4.76 millones de empleos directos e indirectos
Productores	72,000 productores independientes en 1,694 municipalidades (83 ha/productor)
Área cultivada	7.8 millones de hectáreas, (4,7 millones ha para etanol) (0,7% área total)
Rendimiento de campo	77.5 t/ha
Caña procesada	569 millones tons
Insumos	50 mil proveedores de insumos agrícolas (ventas de US\$ 4 billones/año)
Producción	31 millones de toneladas de azúcar 27,600 millones de litros de etanol
Bioelectricidad	Generación de 2,017 MW. Capacidad instalada de 4,034 MW. 3.58% de la electricidad total generada en Brasil
Exportaciones	\$ 8,500 000 000 (US) 19.5 millones de toneladas de azúcar (US\$ 7 billones) 5,100 millones litros de etanol (US\$ 1,5 billones)
Impuestos	\$ 6,855 410 000 (US)
Inversiones	\$ 2,500 000 000 (US)
Estructura productiva	423 usinas 248 plantas mixtas de azúcar e alcohol 159 destilerías de etanol 16 Usinas de azúcar

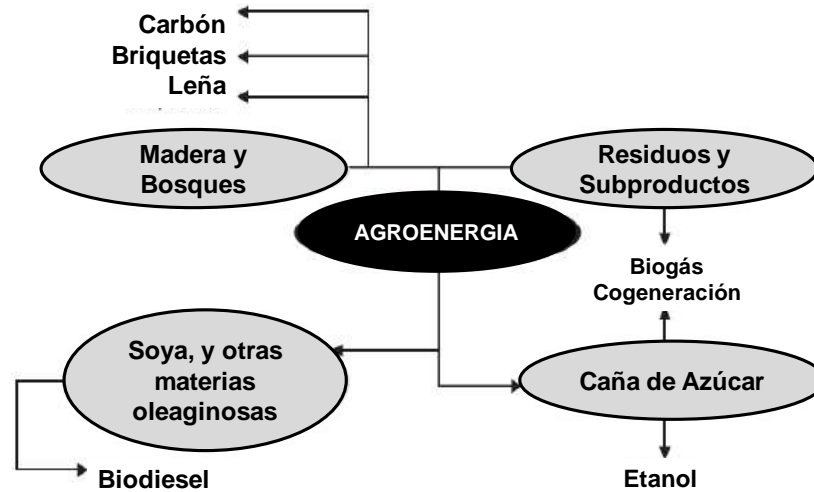


Figura 3.10. Biorefinería en Brasil (FINPRO, 2008)

3.4.7. Otros modelos de diversificación productiva

En caña de azúcar, una decisión clave es si sus componentes estructurales pueden ser mejorados a través de ingeniería metabólica y estos se destinan para la coproducción con la sacarosa para el sector alimentario, o si solo la caña es cultivada para usos industriales no alimentarios. Actualmente, la economía está fuertemente a favor de una parte sustancial de la sacarosa para usos alimentarios. Bajo este escenario, los compuestos objetivo (derivados de la caña) deberían ser económicamente rentables y competitivos para reemplazar la diferencia de valor entre la caña de azúcar para alimentos y como materia prima para la fermentación industrial, y añadir valor agregado suficiente para justificar los costos de producción por separado y las corrientes de transformación de los nuevos derivados.

La situación es menos difícil para los productos derivados de los coproductos o subproductos. Para ser competitivos con otras fuentes, tienen la inherente ventaja biológica de ser derivados de la caña de azúcar como 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. Puede haber nichos de mercado para pequeñas cantidades de nuevos compuestos de mayor precio que pueden ser extraídos de la caña de azúcar. Sin embargo, a menos que exista una ventaja competitiva con productos ya establecidos de otras materias primas (madera, carbón, hule, petróleo, etcétera) será inevitable la competencia en el mercado. Bajo tal escenario, podría haber un impacto positivo en la viabilidad económica de la industria de la caña de azúcar y puede ser una oportunidad para la producción de nuevos compuesto derivados mediante la ingeniería metabólica o biosíntesis (Birch, 2007, Mirkov, 2007).

En todos los países productores de azúcar de caña se han adoptado desde 1970 políticas de "diversificación" que incluyen la introducción de otros cultivos en tierras de caña, la elaboración de productos no tradicionales a partir del azúcar en ingenios azucareros p. ej., melazas de calidad y piensos, y la mayor utilización de subproductos como el bagazo (Aguilar, 2010). Sin embargo, la diversificación de la industria azucarera es un proyecto sumamente complejo, que ha sido evaluado como una alternativa tecno-económica competitiva en diversas economías azucareras, para aumentar ingresos y contrarrestar la volatilidad del precio internacional de azúcar al disminuir costos de producción e impactos ambientales, al convertir residuos o subproductos en materias primas para derivados de nuevos ciclos productivos como cogeneración, etanol combustible entre otros a nivel agroindustria (Renouf 2010, 2007; Capaccioli, 2009; Contreras *et al.* 2009; Alonso-Pippo, 2009, 2006; Rodriguez-Borray, 2008; Taheripour 2008; Cabello et al. 2008; Enríquez, 2008,2001; Fava Neves 2007; Higgins, 2007; Birch, 2007; Keerthipala, 2007; Yuan-An, 2006, 2004; Suarez, 2005; Avram, 2005; Gamarra, 2005; Chandrasena, 2005; Solomon, 2005; Lodi 2005; Carvalho, 2004; Cuellar 2003; Pérez, 2002; Oquendo, 2001; Gálvez, 2000, 1990; Almazan 1998; Singh et al, 1995; GEPLACEA, 1991,1990,1988 1986; De la Torre, 1989; Paturau, 1989; Thomas, 1987; Figueroa, 1995; Santaella, 1980; Rivera, 1980) entre otros, que plantean diversos esquemas de diversificación productiva basados en la caña de azúcar, coproductos y subproductos bajo el concepto de integración productiva, biorefinería, ingeniería metabólica, sucroquímica y agroindustria rural (Figuras 3.11 al 3.15).

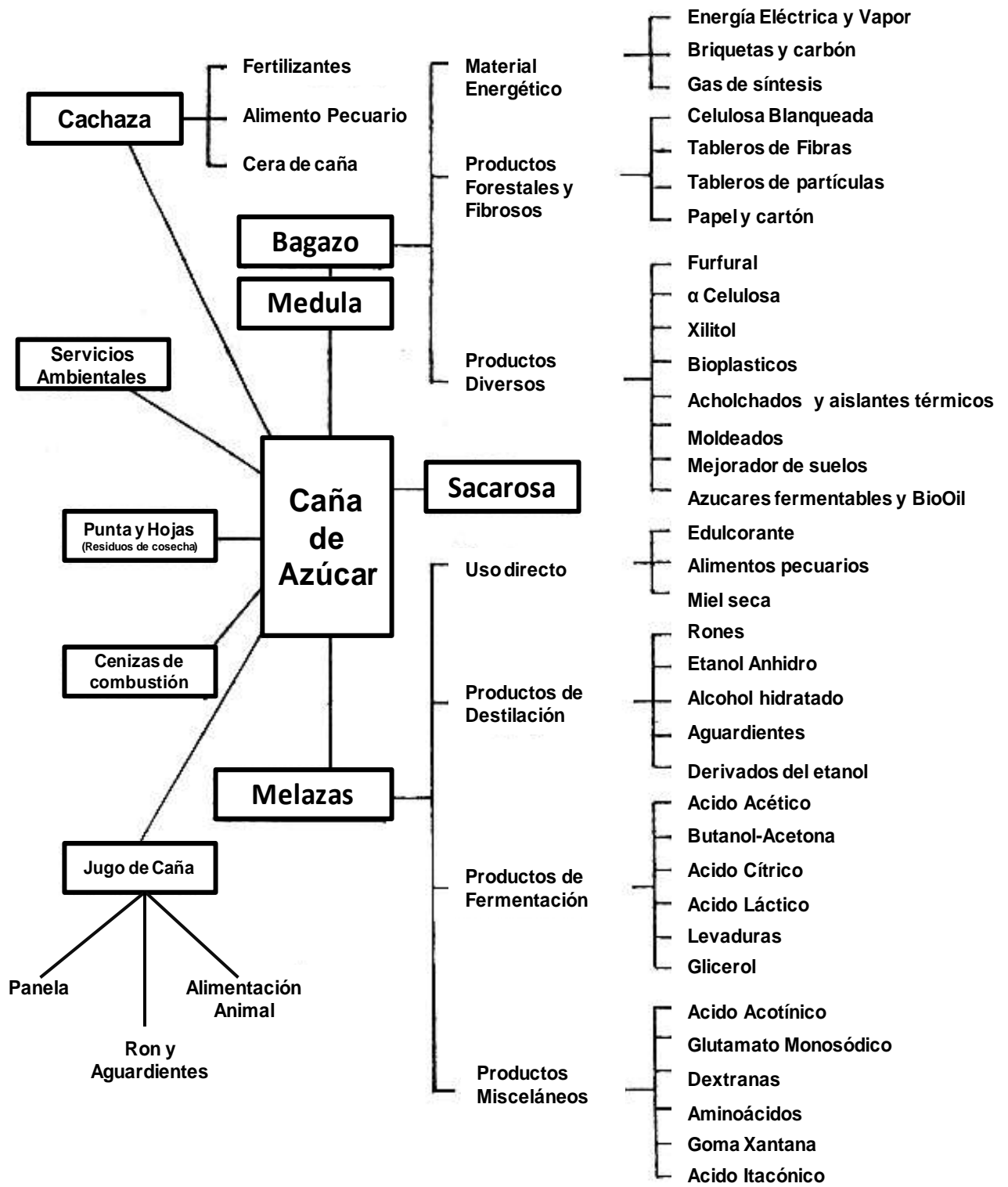


Figura 3.11. Biorefinería de la caña de azúcar (Yadav-Solomon, 2006; Paturau, 1989)

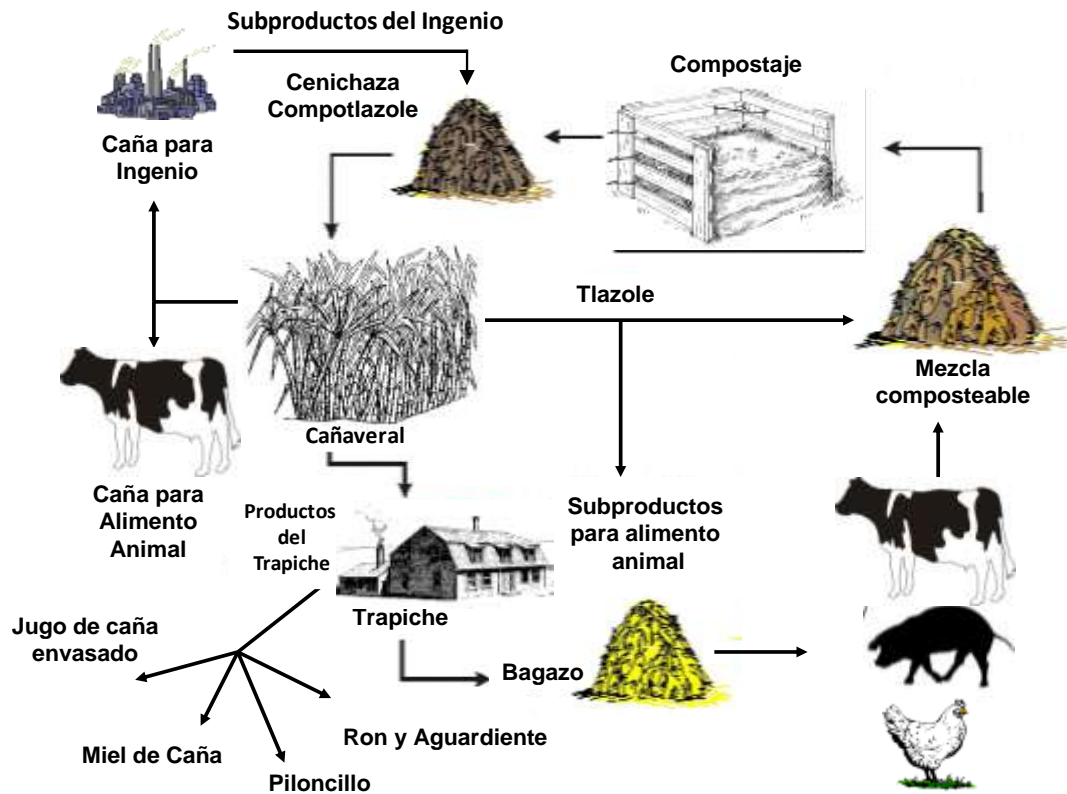


Figura 3.12. Diversificación de la agroindustria rural cañera (Corpoica, 2004)

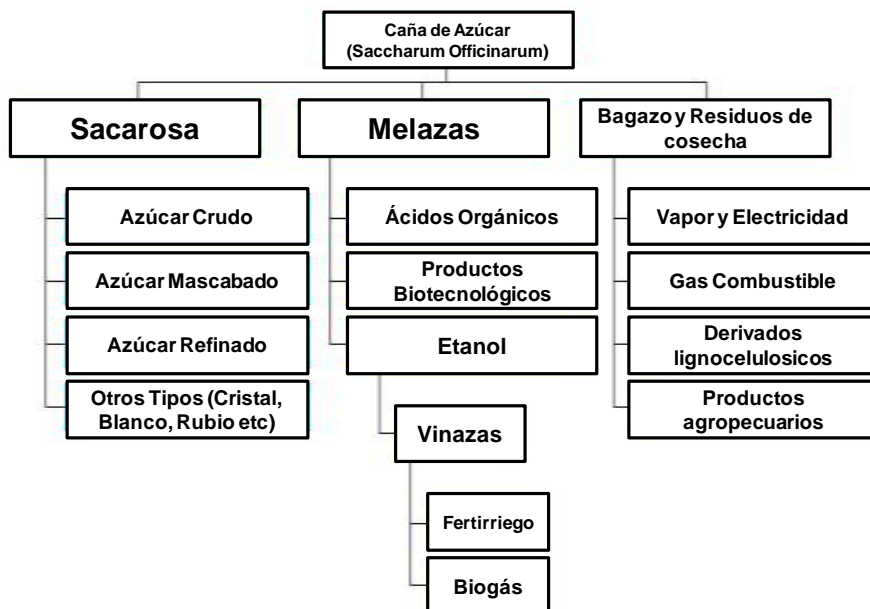


Figura 3.13. Integración productiva de la industria azucarera (Avram, 2005; Gamarra, 2005)

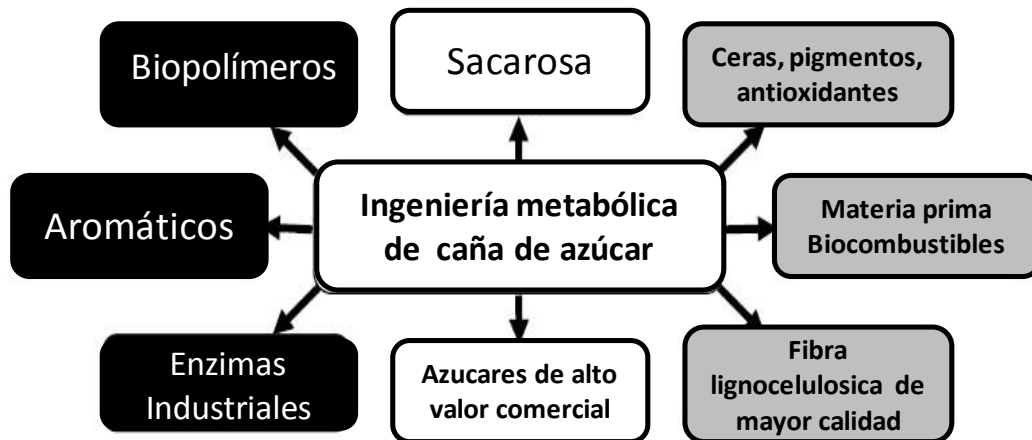


Figura 3.14. Ingeniería metabólica de la caña de azúcar (Birch, 2007; Mirkov, 2007; Khan, 1994)

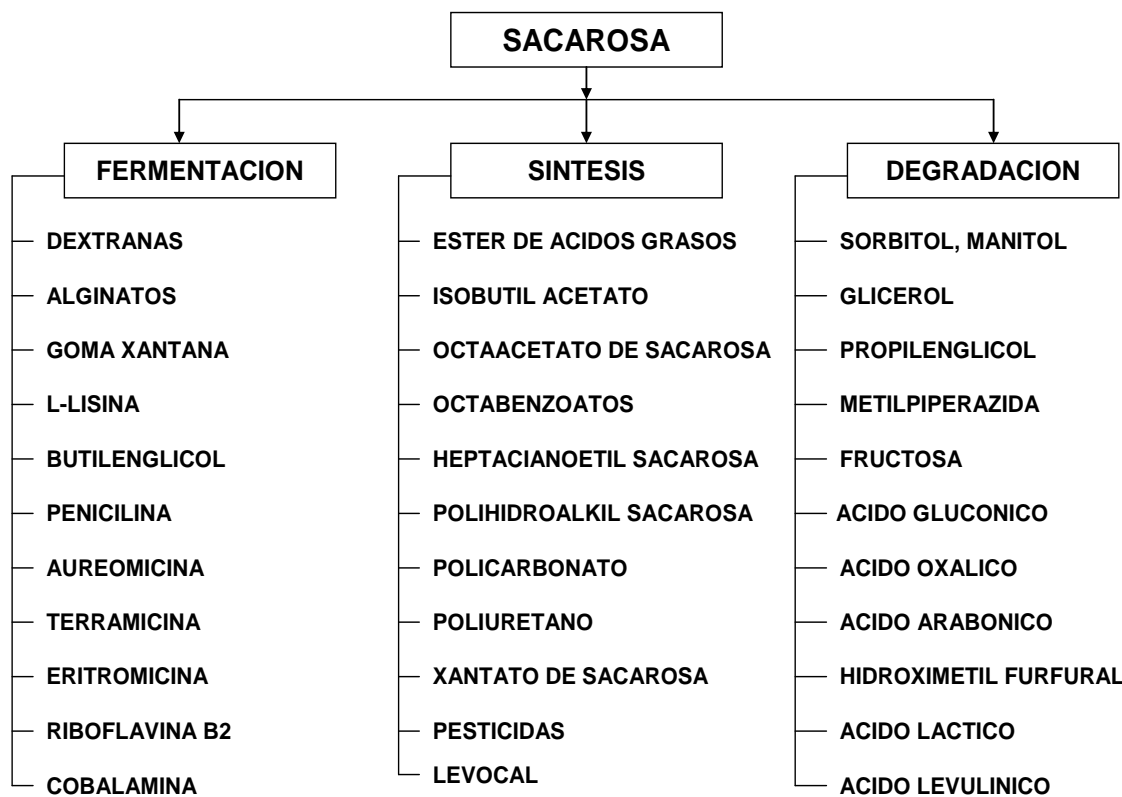


Figura 3.15. Sucroquímica y derivados de la sacarosa (Boscolo M. 2003; Van Nostrand, 1990)

Renouf *et al.* (2010) establecieron que a nivel mundial, los escenarios de diversificación establecidos y que se consideran más viables en el mediano plazo, sin disminuir la producción de azúcar para el consumo humano, con beneficios ambientales significativos en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) están basados en el interés de la industria y las prioridades de investigación:

Escenario 1 (producción de electricidad) con la producción base de azúcar pero con calderas con capacidad de co-generación, y cualquier excedente de bagazo dirigido a la generación de electricidad.

Escenario 2 (etanol a partir de melazas) desviado melazas C a la fermentación de etanol para combustibles mezclados (E10). El proceso de etanol supone tecnología de fermentación convencional con la vinaza concentrada para la aplicación al suelo como fertirriego.

Escenario 3 (etanol a partir de bagazo de caña) ~ 40% de bagazo desviado a la fermentación de etanol para combustibles mezclados (E10). El proceso de etanol se basa en la hidrólisis ácida y enzimática de bagazo. En este esquema las aguas residuales resultantes se tratan anaeróbicamente para recuperar el metano y el efluente tratado reutilizado en el proceso.

Escenario 4 (etanol a partir de jugo de caña) todos los jugos de caña se desvían a la fermentación de etanol para combustibles mezclados (E10).

Escenario 5 (Bioplásticos de jugo de caña) todos los jugos de caña se dirigen a fermentación para la producción de ácido láctico y posterior polimerización (PLA polilactato plástico). En este esquema las aguas residuales derivadas son tratadas y reutilizada en el proceso.

Estos escenarios utilizan la totalidad de la cosecha de caña (tallos, molederos, paja, puntas, cogollo y bagazo) derivada de la expansión creciente de la producción cañera para etanol o bioplásticos (escenarios 4 y 5) y llevan en sí considerables ahorros de energía y créditos de gases de efecto invernadero GEIs. Estos créditos compensan el impacto energético y GEIs invertidos en la producción de caña de azúcar y su procesamiento. Para el escenario de bioplásticos (Escenario 5), los créditos por gases de efecto invernadero evitados en la producción de PET son muy grandes porque la producción de PET es intensiva en energía.

Sin embargo, la expansión de la producción de caña de azúcar requerida para la diversificación productiva tiene ventajas y desventajas. La producción agrícola adicional trae consigo los efectos derivados del uso de tierra adicional, agua y los potenciales efectos de eutrofización, acidificación y contaminantes del aire y la ecotoxicidad por el uso de herbicidas y plaguicidas. Para la producción de etanol (Escenario 4) algunos de los impactos de la expansión de la producción de caña de azúcar se ven parcialmente contrarrestados al evitar emisiones de carbono derivados de la gasolina y la electricidad. En la producción de Bioplásticos (Escenario 5) muchos de los impactos de la expansión cañera son plenamente compensados por los impactos evitados por la producción de PET. Sin embargo, el evitar los impactos de los productos desplazados

derivados de combustibles fósiles, no pueden compensar el impacto por el incremento del uso de la tierra y el agua necesaria para la expansión de la producción de caña, y estos pueden ser los impactos más significativos para estos escenarios.

En los escenarios 4 y 5 se asumió que las aguas residuales (vinazas) generadas a partir de etanol y la producción de bioplásticos son tratadas y reutilizadas en el proceso. En el contexto de la industria del azúcar, es más probable que las corrientes de aguas residuales (vinazas) se aplicarán a los campos de producción de caña. Sin embargo, el impacto asociado con aplicación a la tierra al evitarse la producción de potasio, como fertilizante, es insignificante por lo que este supuesto no influye en los resultados. Los escenarios que utilizan los subproductos del ingenio azucarero (escenarios 1-3), tienen algunas ventajas y desventajas. La única posible compensación se produce cuando la melaza C se desvía de la alimentación del ganado para la producción de etanol, sin embargo, es difícil predecir con exactitud los efectos del desplazamiento de la melaza en el mercado de la alimentación animal, lo que genera incertidumbre en el presente. De los tres escenarios de utilización de subproductos, la generación de electricidad a partir del bagazo ofrece las mejores ganancias en general, si se consideran todos los impactos.

Estos escenarios poseen tres características principales: a) requieren mucha información y conocimientos derivados de las ciencias básicas; b) demandan investigaciones adaptativas a las condiciones ecológicas y productivas particulares; y c) están incorporadas en insumos y bienes de capital, por lo que posiblemente los beneficios económicos derivados sean apropiados de forma privada ya que son bienes privados que se comercializan como mercancías. las semillas, los agroquímicos y la maquinaria agrícola e industrial (Piñeiro, 2009)

3.5. Diversificación de la industria azucarera de México

En México la añeja industria, productora únicamente de azúcar y su única materia prima la caña de azúcar no tienen valor de uso para autoconsumo y de acuerdo a Antony, (2005) si un solo producto, el azúcar, es el objetivo de la cadena de suministro, sólo la caña (tallo) es de interés. En este modelo, el bagazo (la fibra que queda después de la molienda) se quema para generar energía para la fábrica de azúcar, mientras que las hojas y las puntas o cogollo de la planta se disponen al menos costo o se queman en la cosecha sin ningún beneficio económico o ambiental. La cosecha en verde de caña deja tras de sí una capa de basura de la materia de las hojas, que actúa como control de malezas, que puede complementarse con la aplicación de herbicidas. Como los costos no generados por las fábricas por la generación de electricidad y la venta de melazas y cachaza no es compartida por los productores el aumento de los costos de productor y / o disminución de los rendimientos no son generalmente considerados en el cálculo de los beneficios del uso de subproductos por lo que en los ingenios azucareros, la diversificación y la producción de derivados de la caña de

azúcar solo ha sido la generalización del *discurso oficial*²⁷ para aliviar *la crisis de la industria azucarera*²⁸ desde varias décadas atrás.

El modelo dominante de los derivados de la caña de azúcar, vigente en las zonas cañeras de México, y que ha sido adoptado por políticos, industriales, productores, organizaciones cañeras y académicos, como agente de cambio, tiene lugar en el paradigma tecno-económico²⁹ de la diversificación de la industria azucarera cubana denominado **“La industria de los derivados de la caña de azúcar”** (Galvez, 2000, Noa, 1993, 1982)

Este modelo se basa 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

²⁷ Para Gutiérrez, (2004) La palabra “discurso” proviene del latín *discursus*, que a su vez deriva de *discurrere*, que significa “correr aquí y allá”. Es también común que se use para designar las instituciones de la sociedad al prestar legitimidad racional al poder. La noción de “*discurso*” ha sido trabajada de manera pragmática como organización lingüística de oraciones y frases que pertenecen a una tipología articulada en condiciones históricas y sociales de producción por efecto de conferir un cierto “mandato” simbólico y de sesgo ideológico para modificar la realidad y las relaciones sociales a la acción de actores en conflicto dentro de campos determinados de desarrollo de las fuerzas y las relaciones productivas, los intereses particulares, etc., con argumentos lógicos bajo el disfraz de la tecnología y con el respaldo del conocimiento de los expertos de todo tipo. La ley, el orden y la autoridad presentes en el discurso no anulan el hecho de que éste es un instrumento de poder y mando, no de razón propio de la edad moderna del poder., “*la biopolítica*” la convergencia entre saber y poder a un nivel determinado, es decir, para Uc, (2008) la *naturalización* de un concepto o práctica política, económica o cultural, como proceso en el cual los criterios específicos con los cuales se explica la realidad, son presentados como la expresión de tendencias espontáneas y naturales del desarrollo histórico de la sociedad. Transformándolos en un pensamiento único que normaliza dicha realidad y anula los saberes y prácticas alternativas y la forma en que los intelectuales de Estado, instituciones, regímenes y organizaciones (gubernamentales y no gubernamentales), así como las compañías privadas con gran poder comercial y financiero en el sistema empresarial, especializan la economía, transformando una representación y funcionamiento específico, en una práctica dominante y “natural”, para los demás actores del sistema. La representación es construida de tal forma, que se establecen valores y jerarquías que sirven para justificar políticas directamente vinculadas con los intereses de los productores de la misma y el contexto histórico que se atraviesa.

²⁸ Para Ceara (1985) la crisis de la industria azucarera se presenta en tres dimensiones: a) crisis estructural que ha “endogenizado los factores que la promueven”; b) crisis de inserción a la economía mundial, por cuanto el mercado azucarero está en franca extinción, y c) una crisis de la teoría económica, que no provee de un esquema analítico para estudiarla y superarla.

²⁹ El paradigma técnico económico se sostiene en la comprensión de que la tecnología se refiere a las actividades relacionadas con la solución de problemas, que se vinculan con conocimientos de procedimientos individuales y organizacionales; los paradigmas tecnológicos por tanto, entrañan una heurística y concepciones específicas sobre “cómo hacer las cosas” y como mejorarlas que con frecuencia comparten los profesionales de diversas actividades (ingenieros, empresas, sociedades técnicas), así como un marco cognoscitivo colectivo cargado de ideologías. De esta manera, los paradigmas tecnológicos por lo general también definen los modelos básicos de los productos industriales y los sistemas de producción que progresivamente se modifican y mejoran (Ocampo, 2007)

subproductos que se generan tanto en la cosecha de la caña como en el procesamiento de la misma.

Este paradigma fue desarrollado en Cuba desde 1960 a raíz de varios acontecimientos: la revolución cubana y el embargo comercial del mundo capitalista a la isla de Cuba, la sustitución de la dependencia económica de EE.UU. derivado de la exportación de azúcar durante la segunda guerra mundial por la de la Unión Soviética y la adopción del estilo e ideología marxista soviético de planificación central con prioridad en la industria pesada, la excepcional cosecha de caña de azúcar que convierte al azúcar en motor del desarrollo debido al incremento de los precios mundiales del edulcorante durante 1970 y la creación del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) para desarrollar tecnología de punta para diversificar los usos de la caña de azúcar con profesionistas cubanos capacitados como investigadores en ciencia básica e ingeniería en los países del COMECON y el pensamiento de izquierda de los sesenta sustentado en el análisis de la Teoría de la Dependencia³⁰, Este marco teórico se fundamentó en cuatro condiciones: a) creación de una nueva gama de productos de la caña de azúcar que a su vez induce el mejoramiento técnico de muchos procesos y productos; b) reducción de costos de producción de ambos, lo que implica la existencia de una oferta estable y abundante de materia prima; c) que tenga efectos amplios en el sistema económico y d) que sea aceptable social y políticamente. Este paradigma se consolidaría en las décadas siguientes y su mayor difusor sería el Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA); este grupo llegó a ser, en muchos sentidos de su labor, la más importante institución en el mundo azucarero. GEPLACEA tenía aproximadamente al momento de su creación más del 50 % de las exportaciones mundiales, alrededor del 30% de la producción mundial de azúcar, más de la mitad del azúcar de caña del mundo y más del 60% de la caña de azúcar.

Los objetivos del mismo fueron:

- Consulta y coordinación
- Entrenamiento
- Investigación

³⁰ La teoría de la dependencia establece que el subdesarrollo de ciertos países se debe al tipo de relaciones comerciales (dependientes y desequilibradas) que se establecen entre unos países y otros. Si a los dos elementos anteriores se le une la sustitución cada vez más generalizada en los patrones de consumo de los bienes primarios por productos más elaborados, y la reducción de la importación de estos últimos en los procesos productivos avanzados de los países ya desarrollados, se refuerza la hegemonía de estos países en las relaciones comerciales con el mundo menos desarrollado. La dependencia, con todo, no es solamente un fenómeno externo sino que se manifiesta también en diferentes formas en la estructura interna (tecnológica, social, ideológica y política). Las ideas centrales se definen en cuatro puntos: i) Desarrollar una considerable demanda interna efectiva en términos de mercados nacionales, ii) El sector industriales la clave para alcanzar el desarrollo nacional porque genera mayor valor agregado a los productos en comparación con el sector agrícola, iii) Incrementar los ingresos de los trabajadores como medio para generar mayor demanda agregada dentro de las condiciones del mercado nacional y iv) Promover un papel gubernamental más efectivo para reforzar las condiciones del desarrollo nacional y aumentar los estándares de vida del país.

- Publicaciones especializadas

Con un enfoque integral, estas líneas de acción abarcaron las áreas siguientes:

- Producción de caña
- Eficiencia de Ingenios
- Derivados y Subproductos
- Comercialización
- Política Azucarera

Para poder enfrentar los desequilibrios del mercado y buscar soluciones a la crisis recurrente de precios internacionales del azúcar (GEPLACEA, 1990,1988 y 1986). GEPLACEA alcanzó una considerable importancia en el mundo azucarero por sus acciones en entrenamiento e investigación, y en la difusión de trabajos y estudios a nivel mundial en el campo de los derivados de la caña de azúcar. Sin embargo, se enfrentó siempre con la dificultad de llevar adelante acciones comunes a nivel internacional o acciones comerciales conjuntas, ya que los países privilegiaron tanto la acción individual como su relación con intereses extrarregionales (Cerro, 2006).

Durante muchos años, Cuba fue uno de los principales productores de caña de azúcar y el primer exportador de azúcar del mundo. El triunfo de la revolución, en 1959, modificó la situación durante sus primeros años, y fue entonces cuando se hizo hincapié en la diversificación. Sin embargo, cuando Cuba fue admitida en el Consejo de Ayuda Económica Mutua (CAME o COMECON) compuesto por Bulgaria, Cuba, Checoslovaquia, Alemania Oriental, Hungría, Mongolia, Polonia, la Unión Soviética y Vietnam, los acuerdos comerciales preferenciales empujaron de nuevo el azúcar a la parte superior de la agenda económica con el 63 % de la producción para exportación. Este volumen de azúcar generaba una cantidad apreciable de bagazo y melaza que podían ser convertidos en derivados como alcohol, proteína unicelular, aglomerados de bagazo, furfural y sus derivados, etc. que también contaban con demanda en estos países y que eran intercambiados por petróleo, alimentos, equipos y materias primas (Hagelberg y Alvarez, 2005, García Molina, 2005 y Buzzanell 1989). Este período se caracterizó por un aumento explosivo de la producción de derivados mediante la asimilación de tecnología foránea o la introducción de los resultados alcanzados por las instituciones de investigación y desarrollo nacionales. El gobierno socialista de Cuba se benefició del acuerdo azúcar-petróleo que se llevó a cabo con el bloque soviético. Especialmente desde la década de 1970, el azúcar cubano se intercambiaba por petróleo soviético a precios del azúcar que estaban muy por encima de los niveles del mercado. Como regla, el consumo energético de los procesos tecnológicos y de la transportación asociada, así como su impacto ambiental no fueron considerados como factores limitantes de primer orden dado la amplia disponibilidad de petróleo a bajo costo. Por esta razón, no se explotaron las posibilidades de integración energética entre la fábrica de derivados y el ingenio azucarero (Álvarez y Peña, 2001).

Philip (2003) coincide en que si bien Cuba había usado la caña de azúcar para fabricar otros productos distintos del azúcar durante varias décadas, la producción de derivados de la caña estaba estructurada en un solo comprador a precios preferenciales (COMECON). La agroindustria azucarera se desplomó drásticamente en la década de 1990 debido a su falta de competitividad frente a otros productos semejantes del mercado capitalista, el incremento de los precios de los combustibles, la falta de desarrollo de otros sectores de la economía y los efectos generales de la crisis económica azucarera mundial. Tan solo la producción de melazas, tableros de bagazo y pulpa para papel cayó más del 60 % en la década debido a la falta de inversionistas extranjeros para impulsar la producción de derivados. Sin embargo, la experiencia, conocimientos y habilidades acumulados fueron exportados a numerosos países (Cabello, 2002). En abril de 2002, el gobierno cubano anunció un programa de reestructuración denominado "Tarea Álvaro Reynoso", basado en tres motivos: a) Precios deprimidos del mercado mundial de azúcar. b) Perspectiva negativa para el mercado mundial del azúcar. c) Excesiva capacidad instalada de la industria del azúcar, muy por encima de las necesidades actuales y futuras. Los objetivos del plan de reestructuración fueron los siguientes: a) lograr la eficiencia y la competitividad de la producción de caña de azúcar y de azúcar, b) aumentar la producción de alimentos mediante la diversificación agrícola e industrial, c) desarrollar un sector agrícola sostenible, apoyado por el conocimiento y capital humano. En el sector industrial se llevó a cabo una reducción y reorientación de los 156 ingenios existentes:

- 71 continuaron con la producción de azúcar;
- 14 se orientaron a la producción de azúcar y melaza para la alimentación animal;
- 71 se desactivaron
- 5 fueron convertidos en museos para los turistas,
- 5 quedaron en suspensión temporal para satisfacer las necesidades futuras
- 61 fueron desmantelados

Álvarez (2006) mencionó que el resultado principal, fue que el plan de reestructuración puso al descubierto la dependencia del azúcar en la economía cubana. En la actualidad, la industria azucarera de Cuba no parece representar una amenaza competitiva a la Industria mundial (a pesar de que Cuba se incluye en el grupo de los siete países exportadores principales, en compañía de Australia, Brasil, Colombia, Guatemala, Sudáfrica y Tailandia) ya que sus costos de producción tienden a ser mucho más altos que el promedio. Además existen otras dos razones: En primer lugar, el entorno político del embargo comercial; en segundo lugar, Cuba no está en condiciones de exportar azúcar más allá de los compromisos de su comercio actual. La producción ha sido tan baja en los últimos años que Cuba se ha visto obligada a la compra de azúcar en el mercado internacional para satisfacer la demanda interna, lo que manifiesta una paradoja: ¿Cómo en un país con tanta experiencia práctica de investigadores, profesores y técnicos, infraestructura en la producción de derivados de la caña de azúcar, un sólido sistema de investigación y desarrollo biotecnológico, alto nivel de conocimiento científico y educativo de los trabajadores cubanos, organización social de base estatal, la ubicación y el posible potencial de mercados de crecimiento y que ha producido una sustancial cantidad de publicaciones, libros y patentes, solamente el ron y algunos productos biológicos y farmacéuticos son los derivados de la

caña que han logrado tener viabilidad comercial fuera de la isla?; ¿por qué el éxito del proyecto de diversificación de la industria azucarera cubana se limita a realizar investigaciones por contrato sobre una base de consultoría en diversos países?

Existen otros modelos de diversificación de la industria azucarera mundial que se encuentran ampliamente documentados y probados. Para los ingenios mexicanos, numerosos autores (Merterns, 2008, García, 2008, Aguilar, 2007, Viniestra, 2006, Galindo, 2003)³¹ han planteado que la producción de derivados de la caña es una opción que debe considerarse, en especial en el contexto actual en que han disminuido drásticamente la productividad del negocio que sirve como soporte principal de la monoproducción de azúcar. Sin embargo, el modelo cubano de la diversificación, exportado a varias economías azucareras como México, se constituyó como "*El Modelo para imitar basado en nuevas tecnologías*".³² Dentro de este paradigma tecnológico, la diversificación de la industria azucarera nacional presenta una ruptura o

³¹ El sector industrial necesita con urgencia un proyecto de reordenamiento tanto en la cuestión tecnológica sustentado en la diversificación de la producción y la administración industrial y empresarial. Lo anterior debe contemplar la creación y uso de los derivados de la caña para la industria y la creación de proyectos locales o regionales en el ámbito rural. En la realidad, se dan estos procesos, pero por separado y fuera del ingenio, es decir, se vende toda la materia prima para que se elaboren productos como papel, compostas, alimentos pecuarios y productos biotecnológicos en otras industrias que generalmente son transnacionales. No hay proyectos reales sobre biocombustibles o cogeneración eléctrica. Estos complejos agroindustriales deben estar integrados al sector fábrica. Esto requiere de un equipo multidisciplinario que visualice un complejo de tal magnitud (Galindo 2003)

³² Imbs y Wacziarg (2003) concluyeron que el crecimiento económico y el desarrollo se asocian con el aumento de la diversificación en lugar de la especialización en zonas de bajos y medianos ingresos. Ahora bien en la introducción de nuevos productos de exportación, durante el proceso de desarrollo la diversificación está relacionada con la hipótesis de fallo de mercado de Hausmann y Rodrik (2003), lo que sugiere que el descubrimiento que un producto puede ser rentable producirlo en un país en particular, en el que nunca se ha producido antes, crea valor social del conocimiento. Los costos de producción y la demanda extranjera no son cognoscibles a priori, por lo que en el descubrimiento de un "producto en la frontera de la innovación", las empresas que pretenden *imitar* a los primeros que obtienen beneficios de esos descubrimientos no pagan nada por ello. Es decir, la imitación aumenta el rendimiento social en relación con los ingresos privados. Si bien la imitación es claramente deseable desde un punto de vista social, los primeros no pierden todo el valor apropiado creado por sus inversiones en el descubrimiento, ya que, como este tipo de innovación no pueden ser protegidas por los derechos de propiedad intelectual para estimular los regímenes utilizados en el lugar de la frontera de la innovación, los empresarios no pueden apropiarse de todos los aspectos que crean valor, debido a que invierten poco en la experimentación e investigación necesaria para descubrir nuevas oportunidades de exportación durante la imitación del producto, y en consecuencia, el proceso de diversificación productiva y el desarrollo del sector privado se estancan. El mismo autor plantea que las razones teóricas para que los países piensen en diversificar sus procesos, industrias y el campo agrícola se basan en la estructura de las preferencias de los posibles consumidores dentro del mercado, esto se deriva de que los agentes tienen preferencias nemotécnicas, es decir, su patrón de consumo va a cambiar cuando su ingreso crece. Este efecto implica una expansión de la diversidad de los productos consumidos; dado que en una economía cerrada responder a los patrones de producción y los cambios en la estructura de la demanda son suficientes argumentos para generar aumentar la diversificación sectorial en todo programa de desarrollo.

quiebre en el proceso que va de la especialización monoprodutiva (caña y sacarosa) a la diversificación productiva (en campo, fábrica y mercados); se ha quedado en la etapa de imitación al no transitar a la generación de conocimiento propio después de la adaptación (Figura 3.16) y no determina la dirección del desarrollo económico y social de la zonas cañeras que se espera hasta el día de hoy



Figura 3.16. Proceso de innovación empresarial (Cimoli, 2005, Imbs y Wacziarg, 2003)

Por lo tanto, la diversificación, como instrumento de cambio y competitividad, debe abordarse a través de un marco metodológico estructurado propio, sin la concepción tradicional de “seguir al líder” o reconvertirse³³ para definir si es posible reorientar las expectativas de las empresas azucareras nacionales con algún grado de obsolescencia y baja productividad. También debe ser considerada para las empresas que poseen competencias centrales, capacidades competitivas y fortalezas de recursos adecuados para competir con éxito en otras industrias.

³³Galindo (2003) mencionó que en el decenio de los ochenta inicia el proceso de reconversión industrial que para los países desarrollados significó la renovación de sus instalaciones y una importante inversión en ciencia y tecnología, mientras que para el mundo en desarrollo significó la privatización de empresas paraestatales para su modernización. Dentro del sector cañero-azucarero, se ahondó la crisis a tal grado que bajo la capacidad instalada de los ingenios que seguían en labor lo que implicó la expansión de la frontera agrícola.

En el medio plazo, para materializar la competitividad de la industria azucarera de México se tendría que emprender un doloroso y costoso proceso que algunos autores (Álvarez, 2007, 2005 y Pérez-López 2005) han llamado *"reinventar la agroindustria"*.

Este proceso, según los autores supone:

1. El establecimiento de una economía de libre mercado de caña y derivados.
2. Aprender de las experiencias de otros países.
3. Permitir la inversión extranjera en la producción y procesamiento.
4. Implementar un plan de diversificación en la caña de azúcar, derivados del azúcar y subproductos.
5. Aplicación del concepto de biorrefinería de la caña de azúcar: azúcar, etanol, y otros productos biológicos.

En relación a la ideología nacional sobre el concepto de diversificación de la industria azucarera nacional, cabe la pregunta: ¿Podría el "modelo cubano de reconversión y diversificación agrícola e industrial" ser una opción para la industria azucarera mexicana bajo las actuales políticas, ideologías e indicadores productivos y el peso de 500 años de historia basada en un producto para el cual la industria no ha demostrado la capacidad de lograr una sólida y constante ventaja comercial para hacerla competitiva?

Por lo tanto, el alcance de un programa para la reinención de la industria de México, explícitamente para su aplicación, tiene que hacerse bajo un modelo nacional; es decir, la relación entre la estrategia de diversificación y el resultado empresarial debe constituirse como tema central en todos los ámbitos de la industria azucarera nacional. Sin embargo, la evidencia muestra que su materialización es inconsistente. Ello implica la necesidad de recurrir a nuevos enfoques y conocimientos para investigar dicha relación³⁴. Martínez (2008) apuntó que el estilo de gestión es un factor particularmente importante desde la perspectiva de la implantación de la diversificación. Como con cualquier otra estrategia, el grado en que los beneficios potenciales de la diversificación sean realmente alcanzados dependerá en gran medida de cómo ésta sea dirigida e implantada.

El modelo cubano (base de la imitación nacional) plantea que el ingenio es la base central de cualquier proyecto de diversificación; sus potencialidades se derivan del volumen de subproductos que la agroindustria genera, zafra tras zafra, de los

³⁴ Nonaka (1991) señala que en una economía donde hay incertidumbre, la única fuente de ventaja competitiva duradera, es el conocimiento. De hecho, cuando los mercados cambian, las tecnologías proliferan, los competidores aumentan y los productos se vuelven obsoletos, las compañías exitosas son aquellas que crean nuevo conocimiento difundiendo ampliamente a lo largo de la organización, e incluyéndolo rápidamente en nuevas tecnologías y productos. En este tópico, la base teórica de la diversificación permitirá centrar la atención en cuestiones tales como *¿por qué diversifican las empresas?, ¿cuáles son las formas posibles de diversificación?, ¿es preferible la diversificación mediante crecimiento interno o externo?, ¿cuál es la mejor forma de medir el grado de diversificación de una empresa?, ¿cómo se consiguen crear y explotar sinergias dentro de la empresa diversificada?*

elementos fisiológicos que constituyen a la materia prima, y de la composición física y química de los coproductos y subproductos del ingenio azucarero. Este modelo plantea cuatro niveles tecnológicos en la producción de derivados (Cuadros 3.17 y 3.18, Figura 3.17)

Cuadro 3.17. Características de las empresas de derivados de la caña (Gálvez, 2000)

Nivel de Diversificación	Características técnicas	Tipo de empresas
1ra Generación de derivados	Tecnologías simples Productos derivados de bajo valor agregado Usos agrícolas locales Escalas flexibles Escaso o nulo control de calidad	Campo cañero ³⁵ Ingenio azucarero o etanolero
2da Generación de derivados	Tecnología Convencional Nivel de inversión bajo Control de calidad de baja exigencia Mano de obra con cierta calificación Productos derivados para los mercados locales o nacionales	La propia empresa del ingenio con especialización en derivados
3era Generación de derivados	Tecnología de media y alta complejidad Economía de escala determinante Variedad de insumos Mano de obra especializada Control de calidad alto	Empresas independientes de los ingenios Vinculación con el comercio exterior Alto nivel técnico
4ta Generación de derivados	Tecnología de punta Productos de uso especializado Instalaciones compactas Alto nivel de calidad	

³⁵ Se denomina campo cañero al área de abastecimiento de caña que cada ingenio tiene delimitado en un cierto perímetro. También se denomina zona de abastecimiento, al área geográfica donde se ubican los terrenos de los abastecedores de cada Ingenio

Cuadro 3.18. Derivados de la caña de azúcar, modelo cubano (Gálvez, 2000)

Materias Primas	1era Generación de derivados	2da Generación de derivados	3era Generación de derivados	4ta Generación de derivados
Caña de azúcar	Alimentación pecuaria y humana	Panela y melado Jugo de caña	Aguardiente y ron	Sacarosa y etanol
Residuos de cosecha	Alimentación pecuaria Energético	Hongos comestibles Ensilaje	Azúcares fermentables	Etanol y alcohólica Furfural
Bagazo	Alimentación pecuaria Energético	Bagazo predigerido o hidrolizado	Celulosa y papel Tableros Xilitol	Lignina Furfural Etanol
Sacarosa y Melazas	Alimentación pecuaria Edulcorante	Levaduras y alcohólica Aguardientes	Aminoácidos Ácidos orgánicos Aditivos de alimentos	Sucroquímicos Enzimas Fármacos
Cachaza	Abono Alimentación pecuaria	Composta	Biogás Ceras y aceites	Fitoesteroles Fármacos
Vinazas	Fertirriego	Vinaza Deshidratada	Biogás	Energía



Figura 3.17. Índices económicos de los derivados de la caña (Almazan, 1998)

Hasta el día de hoy, Cuba no ha logrado alcanzar un desarrollo sostenible y competitivo sin riesgo de dependencia de los mercados internacionales de azúcar mediante una mayor diversificación de productos exportables, incluyendo productos nuevos o alternativos derivados de la caña de azúcar. Esto se debe a que los derivados que su modelo plantea como prometedores: Furfural, papel y cartón, tableros, xilitol, aminoácidos, sucroquímicos, carbón activado, carboximetilcelulosa, entre otros, son obtenidos en los países industrializados de materias primas existentes y abundantes en ellos, diferentes a la caña de azúcar o a sus subproductos; es decir, madera, melazas de remolacha azucarera, carbón mineral, residuos de cosecha de cereales etcétera,

transformadas con tecnología de punta, lo que los convierte en productos de exportación diferenciados y líderes a nivel mundial³⁶ (Cuadro 3.19)

Cuadro 3.19. Productos agroindustriales líderes

Producto	Materias primas	País productor
Papel y cartón	Maderas blandas (coníferas) y duras (latifoliadas)	Estados Unidos, Noruega, Suecia, Finlandia, Canadá, Brasil y Chile
Tableros	Residuos de maderas blandas (coníferas) y duras (latifoliadas)	Estados Unidos, Noruega, Suecia, Finlandia, Canadá
Furfural	Mazorcas de maíz, cascara de avena, cascara de algodón y arroz, maderas duras y bagazo de caña	China, Estados Unidos, Tailandia, República Dominicana, Sudáfrica, España.
Xilitol	Abedul, eucalipto, mazorcas de maíz, cascara de avena y coco, cascara de algodón y arroz, bagazo de caña.	Austria, China, Bélgica, Estados Unidos, Alemania.
Etanol	Caña de azúcar, maíz, remolacha, cereales	Brasil, Estados Unidos, Francia,
Aminoácidos	Melazas de remolacha o caña, sacarosa y glucosa	Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, China, Alemania, India
Carboximetil Celulosa	Coníferas, eucalipto, linters de algodón, paja de arroz,	Estados Unidos, Japón, Alemania, Bélgica, Europa del Este
Carbón Activado	Carbón bituminoso o lignito, turba, maderas duras, cascara de coco.	Estados Unidos, China, Alemania
Sucroquímicos	Sacarosa de remolacha	China, Bélgica, Inglaterra, Alemania.

³⁶ Según Labarca (2007) una empresa o sector industrial no es competitivo por sí solo, especialmente si no cuenta con un entorno de apoyo a proveedores o servicios orientados a la producción, o una presión competitiva de competidores locales basada en la interacción y en la innovación basado en un entorno que favorezca la competitividad en un sistema nacional de normas, leyes, reglas, valores e instituciones que definan los incentivos que moldean el comportamiento de las empresas. En este entorno, el estado tiene un papel decisivo en el momento de definir el desarrollo industrial y la reestructuración productiva de un país especialmente bajo las nuevas modalidades de gobernabilidad en los sistemas político, económico y social con enfoque de visión-acción a largo plazo. La agroindustria de la caña de azúcar de Brasil es el mejor ejemplo, el gran rendimiento en las exportaciones está directamente relacionado con el dinamismo de la agroindustria que produce en las fábricas de azúcar, etanol hidratado y anhídrido en instalaciones anexas en destilerías, teniendo la opción de alternar la producción de azúcar o de etanol, de acuerdo con las oportunidades de expansión que ofrecen estos dos mercados. La competitividad de la producción de caña de azúcar se apoyó fundamentalmente en la expansión del sistema de innovación sectorial en la región más idónea para el cultivo de caña: São Paulo. Y el dinamismo de la región se basó en la conjunción de varios factores como recursos naturales de calidad abundantes, mejoramiento de la infraestructura de transporte y energía, financiación gubernamental y legislación para garantizar la ejecución de los objetivos a medio y largo plazo y en la inserción en un sistema regional de innovación donde convergen los productores, los fabricantes de bienes de capital, los institutos de investigación y universidades públicos y privados para crear una base de investigación tecnológica para el sector, además de modernizar las prácticas agrícolas. Este sistema hizo posible que la región experimentara desde 1975 un incremento gradual de la productividad de los cultivos de caña de azúcar desarrollados en esta misma región convirtiendo a Brasil en el mayor exportador de derivados de la caña desplazando en su totalidad a Cuba desde la década de 1990 (Tosi, 2008).

Si trasladamos el modelo cubano de diversificación a la industria azucarera nacional, la teoría de capacidades y recursos³⁷ establece que “La diversificación es el resultado de la posesión de capacidad sobrante en recursos que tienen múltiples usos y para los cuales existe una imperfección en el mercado” (Riveros, 2004, Peteraf, 1993, Penrose 1962); pero es necesario considerar que los recursos distintivos de la empresa (ingenio) son en muchos casos indivisibles o, al menos, no perfectamente divisibles. De tal modo, que esta característica, unida al hecho de que en el normal funcionamiento de la empresa no todos los recursos (caña de azúcar, coproductos y subproductos) se utilizan a la misma velocidad, provoca que pueda existir capacidad sobrante de algunos de ellos, lo cual constituye un estímulo interno para el “*crecimiento de la empresa*”. A su vez, los recursos sobrantes pueden tener múltiples usos (bagazo en calderas, melazas en destilería), es decir, pueden ser empleados en los negocios actuales, o bien, en nuevos negocios. Sin embargo, la posesión de capacidad sobrante de algún recurso productivo (melaza, por ejemplo) que no pueda ser empleado en los negocios tradicionales no es condición suficiente para que se dé la diversificación empresarial porque la empresa puede optar por venderlo en el mercado (Teece, 1982).

Por lo tanto, 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 (Figura 3.17) y clientes con beneficios a corto plazo; aquí, los subproductos son empleados por el mismo ingenio para generar energía, vapor y compostas en un tipo de incipiente diversificación relacionada de negocio dominante limitado (Rumelt, 1974). De acuerdo con Arango (2008), y los trabajos de Renouf, (2010), Vaughan (2006) y Morecroft (1996) el establecer proyectos de diversificación de mayor alcance en una región o una planta industrial podría tener repercusiones relacionadas con la satisfacción de la demanda de azúcar y una variación significativa de su precio en el mercado, debido a la competencia por la materia prima (caña de azúcar) de acuerdo con la ley de la oferta y la demanda (Figuras 3.18 y 3.19).

³⁷ Riveros (2006 y 2004) menciona que el origen de la Teoría de Recursos y Capacidades se sitúa habitualmente en el año 1984, con la publicación del artículo “*The resource-based view of the firm*” de Binger Wernerfelt, trabajo que posteriormente dio nombre a esta corriente del pensamiento. En concreto, 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 lo tanto, el propósito del análisis de los recursos y capacidades es identificar 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, centrandose su atención en el análisis de los recursos y capacidades que presentan las empresas, así como en sus diferencias y en la importancia que este hecho tiene para explicar la evolución de sus resultados. Y específicamente, la literatura ha categorizado los recursos que afectan a las decisiones de diversificación, en tres clases de recursos, recursos físicos, recursos intangibles y recursos financieros (Chatterjee y Singh, 1999), es decir, aquellas empresas (ingenios) que dispongan de un exceso de recursos físicos e intangibles (recursos más específicos) se dirigirán hacia actividades estrechamente relacionadas (diversificación relacionada) mientras que las que posean exceso de recursos financieros (recursos menos específicos) se dirigirán hacia actividades más alejadas y menos relacionadas (diversificación no relacionada).

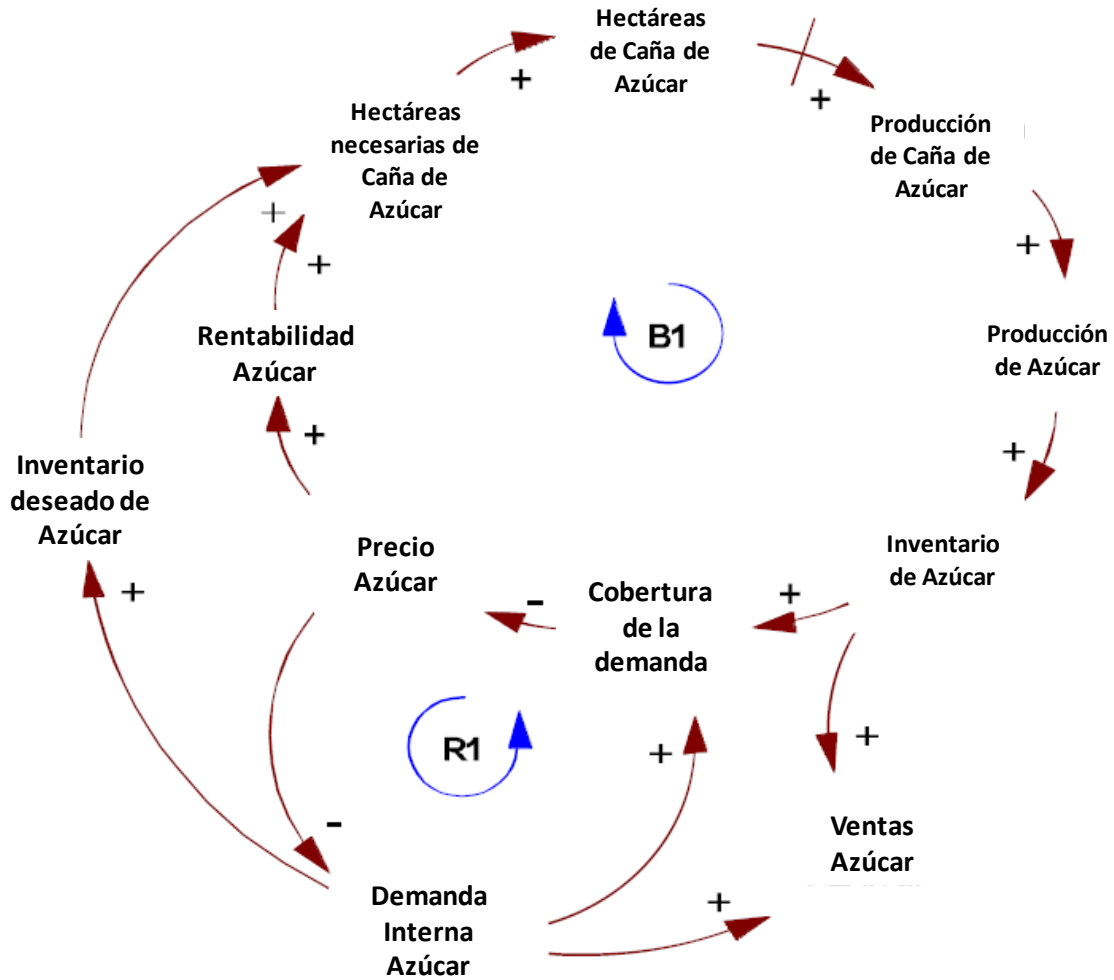


Figura 3.18. Dinámica del mercado de azúcar (Arango, 2008)

La dinámica del mercado de azúcar está constituida por dos ciclos, uno de balance (B1) y uno de refuerzo (R1). En B1, el cultivo de caña y su producción están determinados por la rentabilidad del principal producto derivado de ésta (azúcar) y, a la vez, la producción de caña determina en gran medida el nivel de satisfacción de la demanda de azúcar. R1 muestra la interacción entre el precio del azúcar y la demanda. Un aumento en la rentabilidad del azúcar hace mucho más atractivo sembrar caña; por lo tanto, se expande la superficie sembrada y, en consecuencia, se incrementa la producción de azúcar. Cuando la producción de azúcar supera a la demanda, los inventarios se incrementan y disminuye el precio, lo que afecta a la rentabilidad del producto.

Si a este modelo económico, se agrega la producción de algún otro derivado (etanol, biodiesel, sucroquímicos, etcétera) (Figura 3.19) la caña producida va a ser destinada tanto a la producción de azúcar como de otros derivados, 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.

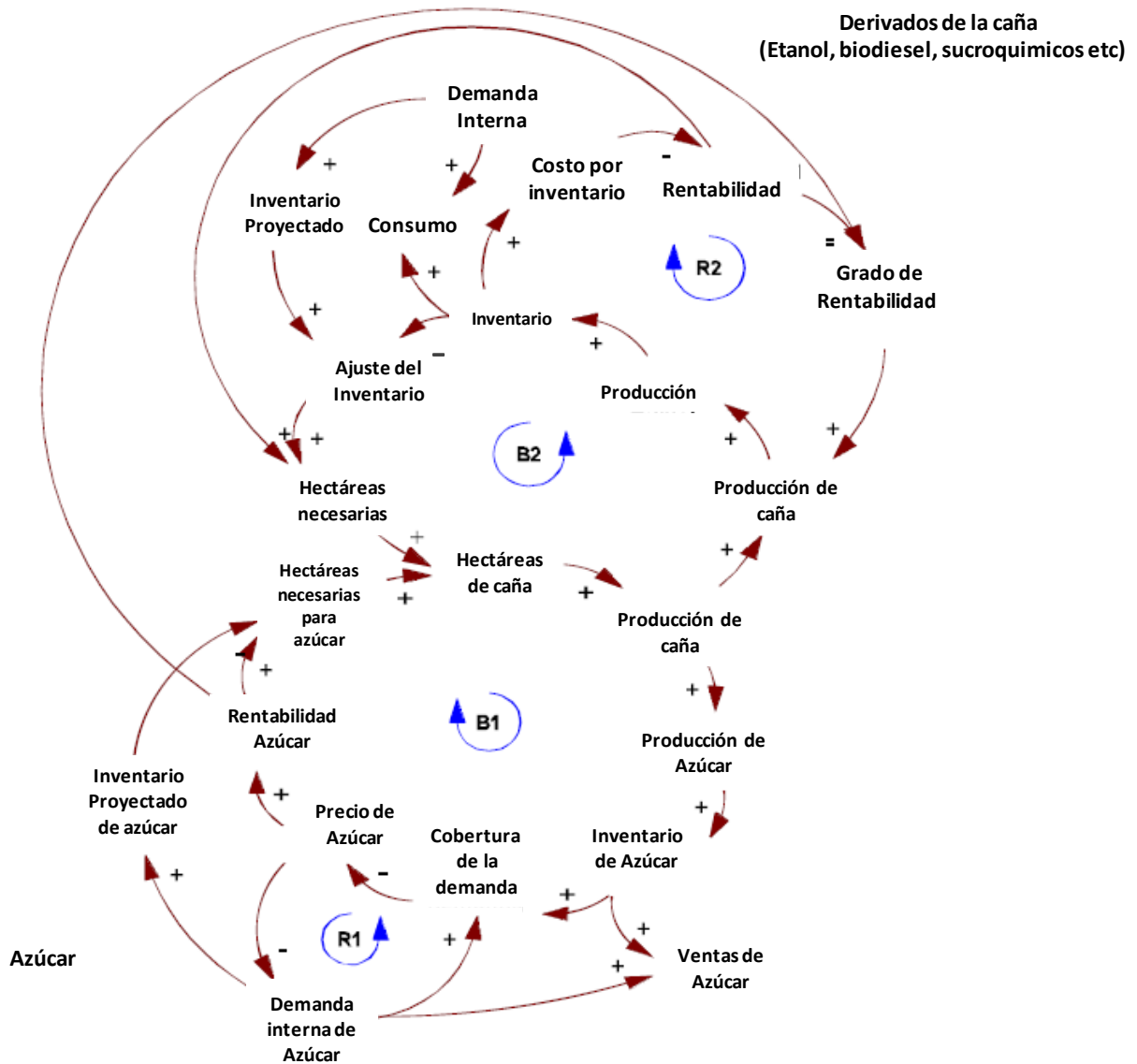


Figura 3.19. Dinámica del mercado de azúcar y derivados de la caña (Arango, 2008)

Si la rentabilidad del derivado en cuestión aumenta, se hace menos atractivo producir azúcar, lo que se refleja en una disminución de su inventario; consecuentemente disminuirá su oferta en el mercado y aumentará su precio; esto incrementará la superficie con caña de azúcar, lo que aumentará la cantidad de caña destinada a la producción del derivado; por lo tanto se incrementa la producción y oferta de este, lo que influye negativamente en su precio y en su rentabilidad, reactivando el ciclo con un aumento del interés por producir azúcar. Por lo tanto, *para que* los ingenios mexicanos sigan una estrategia de diversificación debe ocurrir algún tipo de imperfección en el mercado que haga que el intercambio conlleve costos de transacción muy altos, mayores que los costos de explotar ese recurso internamente o bien, las empresas se

diversificarán en respuesta al exceso en factores productivos o recursos que no pueden ser transferidos a través de los límites de la empresa sin incurrir en altos costos de transacción”. Por lo tanto, bajo este planteamiento la justificación a la diversificación de la industria azucarera se encuentra en compartir recursos y capacidades estratégicos entre los negocios, o bien, en dar uso a los recursos ociosos (si los hubiese), en aquellos casos en que los mercados no funcionen satisfactoriamente (Riveros, 2004).

Es decir, la decisión de cuando diversificarse dependerá parcialmente de las oportunidades de crecimiento de la firma en su industria actual y, en parte, de las oportunidades disponibles para utilizar sus recursos, su experiencia, sus sinergias³⁸ y sus capacidades en otros segmentos del mercado, principalmente internos, para sustituir las importaciones de productos líderes provenientes de países industrializados que pueden obtenerse localmente; en este caso, a partir de la caña de azúcar, sus coproductos y subproductos, debido a que una gran mayoría de los estudios efectuados concluyen que una diversificación en negocios relacionados con el original, permite a la empresa obtener mejores resultados (Rumelt, 1982).

De acuerdo con la Teoría de los Recursos y Capacidades, la oportunidad para diversificarse surge cuando la empresa posee recursos sobrantes o infrautilizados, cuyo valor es más alto en otros negocios distintos de aquél en donde se originaron. Este no es el caso de la mayoría de los ingenios azucareros mexicanos, los cuales no cuentan con la cantidad de materia prima suficiente y de calidad para el negocio principal (azúcar) y para los coproductos y subproductos derivados de su procesamiento (etanol,

³⁸ Una empresa estará explotando sinergias cuando su valor conjunto tomado como un todo sea mayor que la suma del valor de cada división o unidad de negocio por separado. De tal modo, que el efecto sinérgico surgirá cuando: *“La agrupación de dos o más unidades de negocios distintas bajo un mismo centro decisor permita a alguna de ellas o a todo el conjunto en general, aumentar la eficacia y la eficiencia con que producen y proveen productos a su mercado”*. En este caso, la empresa obtendrá de la explotación de sus recursos un rendimiento conjunto superior a la suma de sus elementos, es decir, creará valor (Ansoff, 1976) y sólo en esas circunstancias se justificará el proceso de diversificación, es decir, sólo: *“Cuando el valor de la empresa sea mayor que la suma del valor de cada división o unidad de negocio por separado”* (Suárez González, 1993). Por otra parte, para Davis y Thomas (1993) la sinergia es la superaditividad en la valoración de las combinaciones de negocios, es decir, que el valor de una combinación de unidades de negocios exceda la suma del valor por permanecer como una unidad individual. Por último, en realidad el concepto de sinergias se basa en una definición ampliada de las *economías de Alcance (la posibilidad de acceder a nuevos mercados o entregar más productos al mismo mercado*, logrando economías de costos por beneficios en el canal de distribución mediante el uso de la capacidad instalada y las economías de escala) en la que se supone que no sólo los inputs de carácter físico son susceptibles de ser compartidos entre los negocios, sino también, los de naturaleza intangible. Por lo tanto, si las economías de alcance surgían de la utilización conjunta de un input productivo en el desarrollo de dos productos (lo que permitía reducir los costos totales), las sinergias surgen de la utilización conjunta de cualquier tipo de recurso (y sus posibles combinaciones) en dos o más negocios, lo que eleva el rendimiento conjunto de toda la empresa.

energía eléctrica, vapor, melaza, bagazo y cachazas) el balance de materia y energía es negativo (Gráficos 1 al 12).

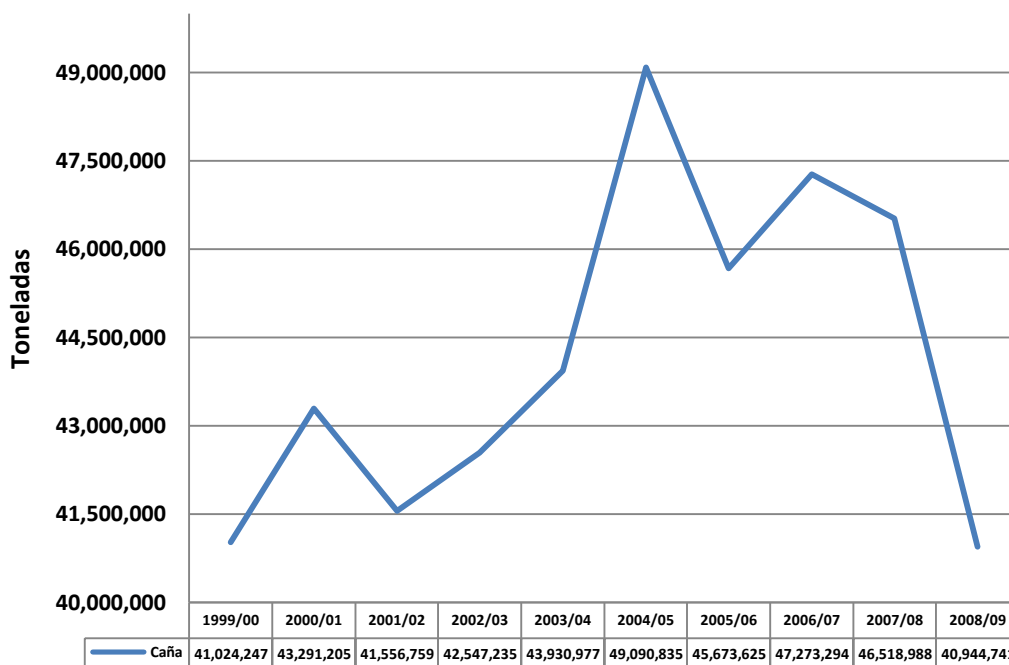


Gráfico 1. Producción de caña de azúcar (zafros 1999-2009) (CNPR, 2009)

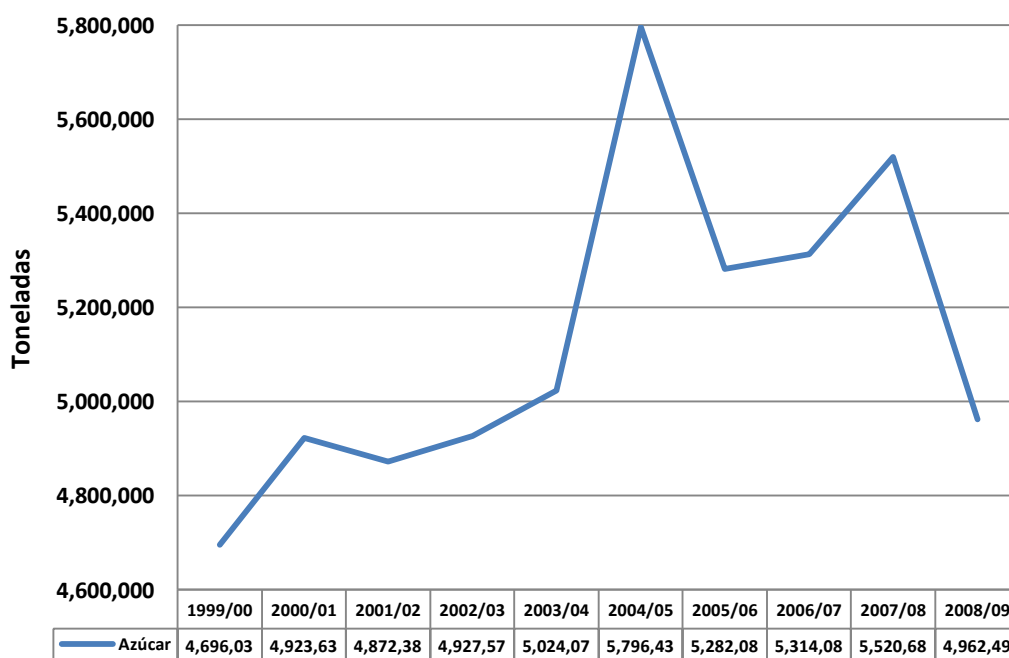


Gráfico 2. Producción total de azúcar (todos tipos) (zafros 1999-2009) (CNPR, 2009)

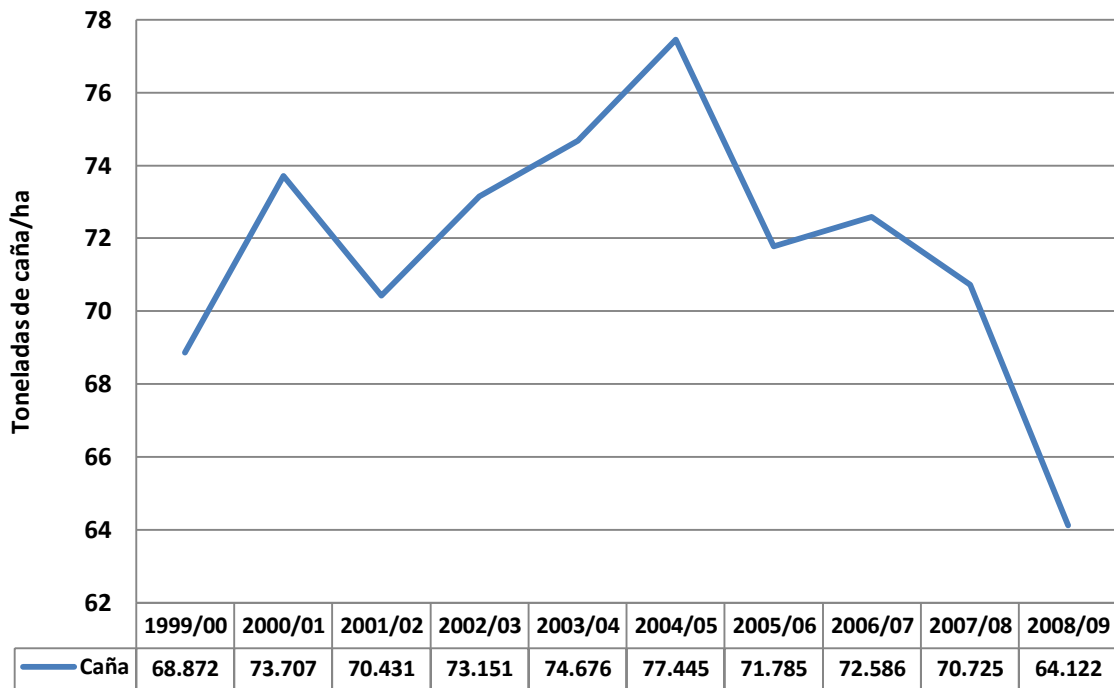


Gráfico 3. Rendimiento del campo cañero (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

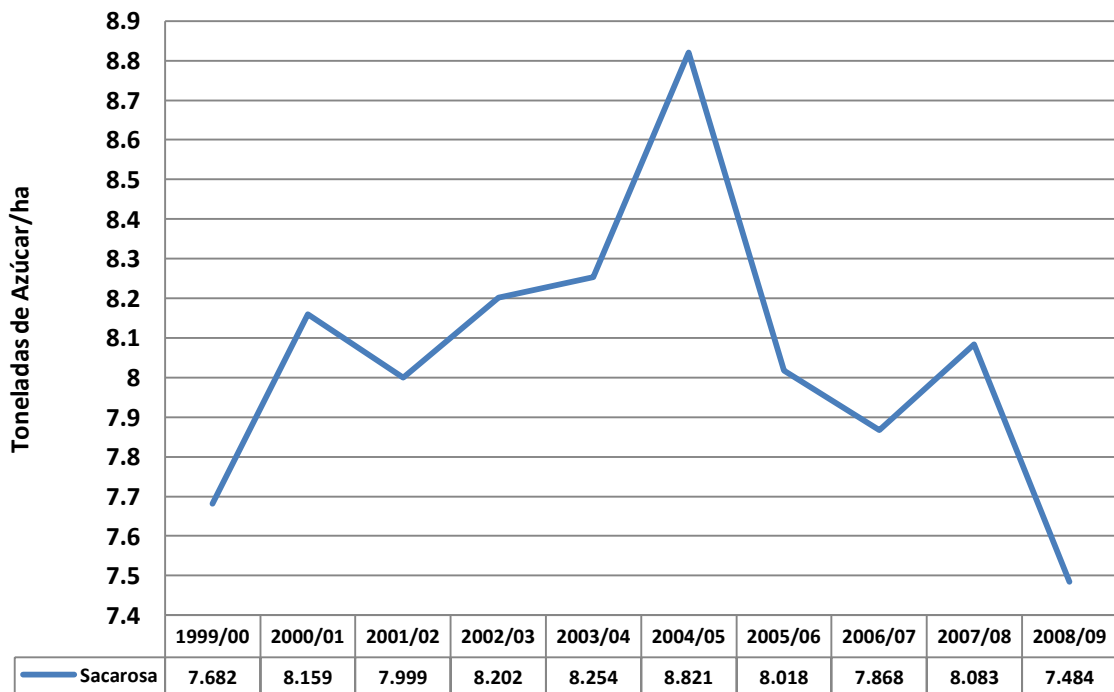


Gráfico 4. Rendimiento agroindustrial (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

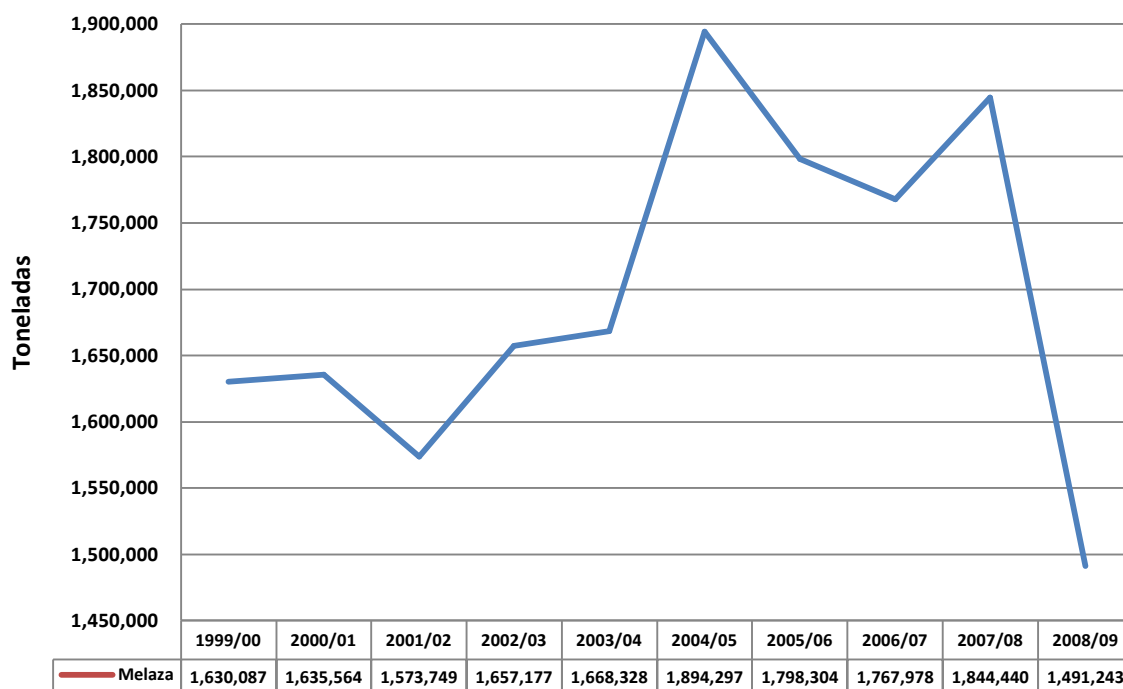


Gráfico 5. Producción de melazas (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

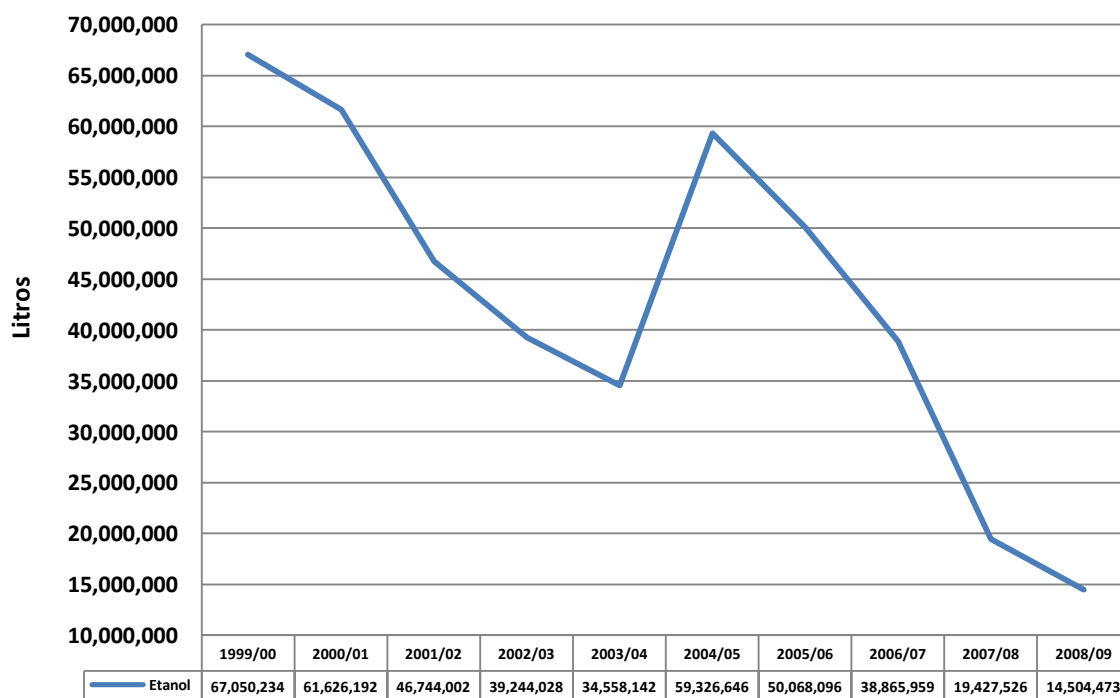


Gráfico 6. Producción de etanol (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

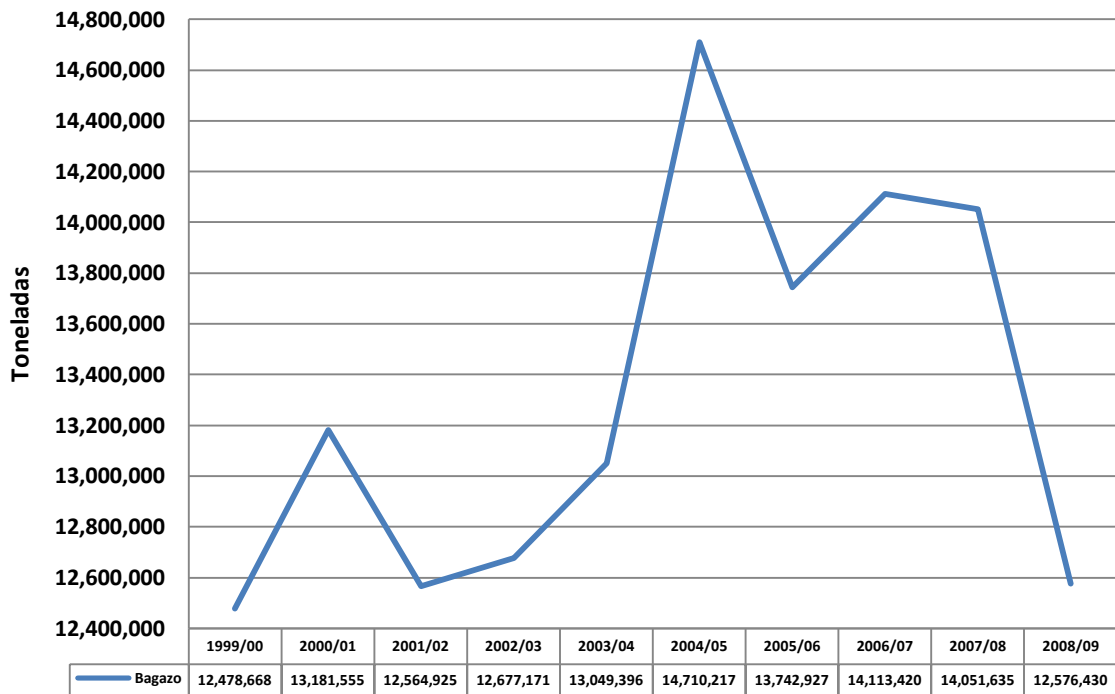


Gráfico 7. Producción de bagazo (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

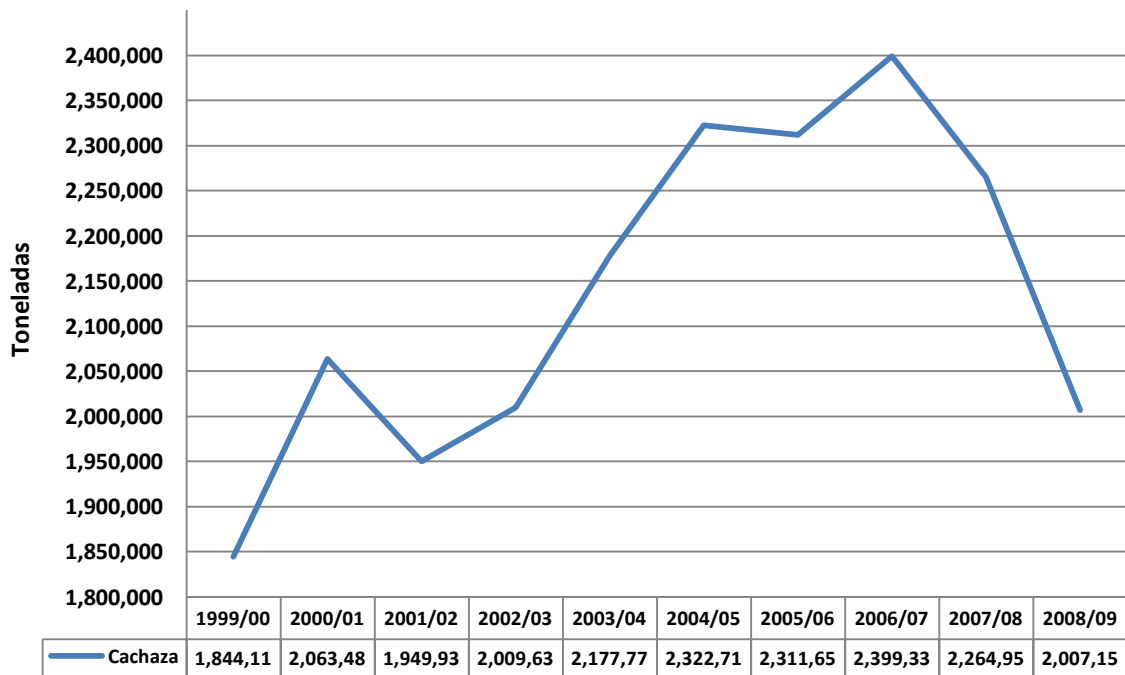


Gráfico 8. Producción de cachazas (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

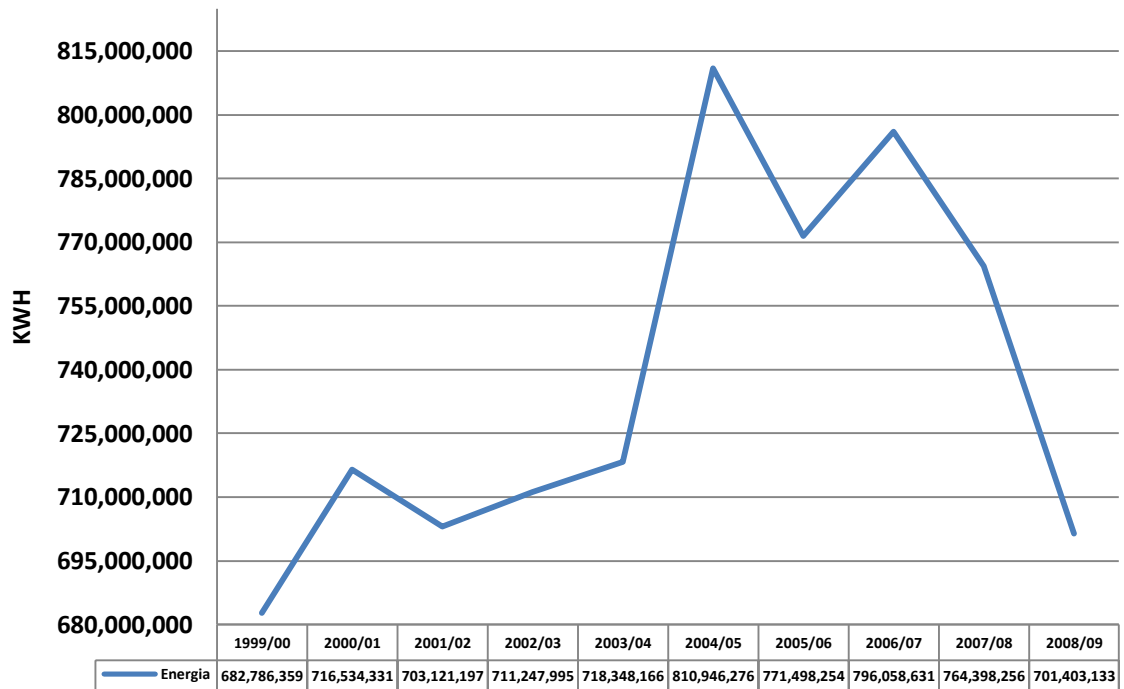


Gráfico 9. Energía generada a partir de la combustión de bagazo (zafra 1999-2009) (CNPR, 2009)

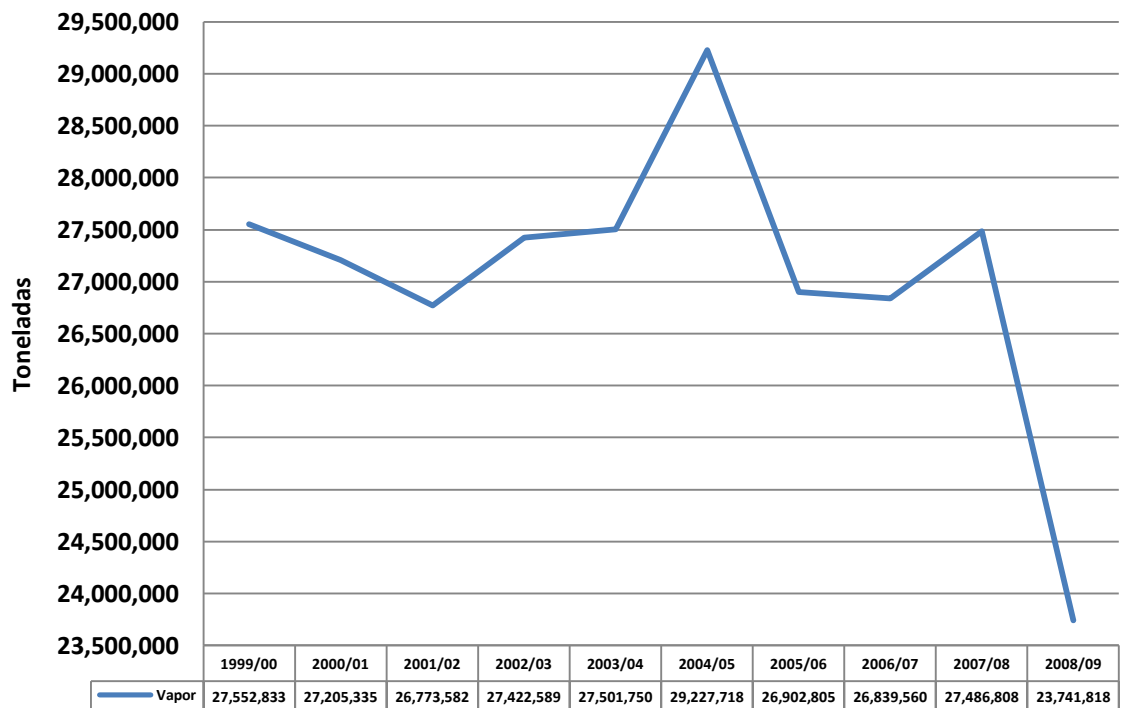


Gráfico 10. Vapor de proceso generado a partir de la combustión de bagazo (zafra 1999-2009) (CNPR, 2009)

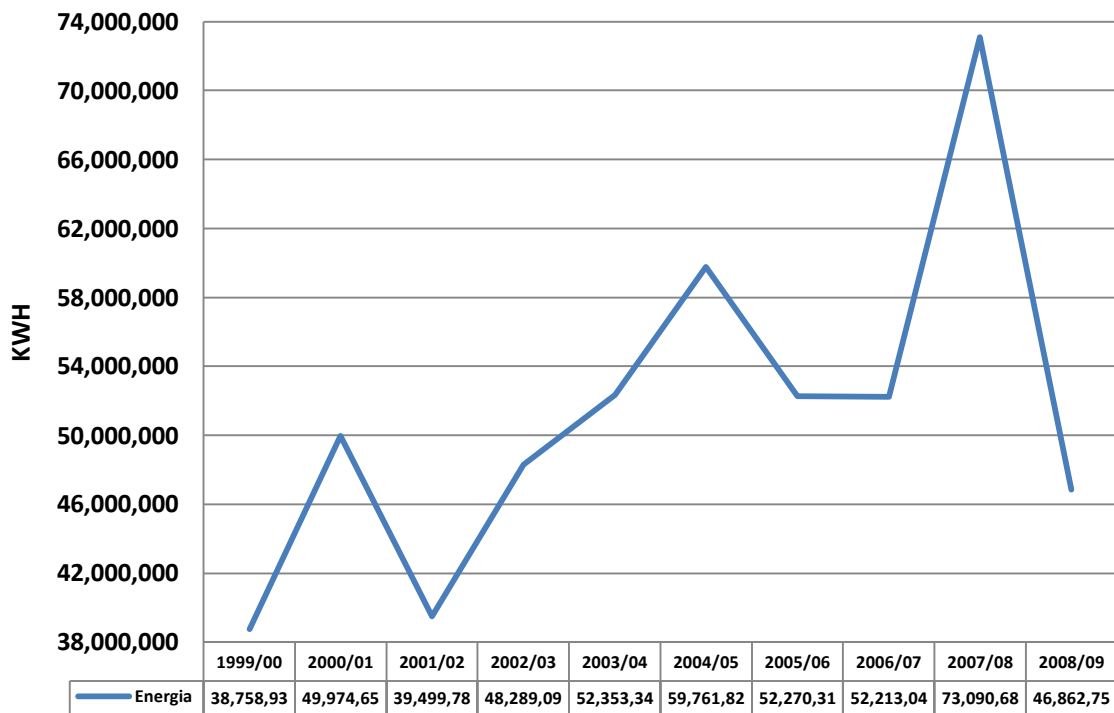


Gráfico 11. Energía de CFE consumida por los ingenios (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

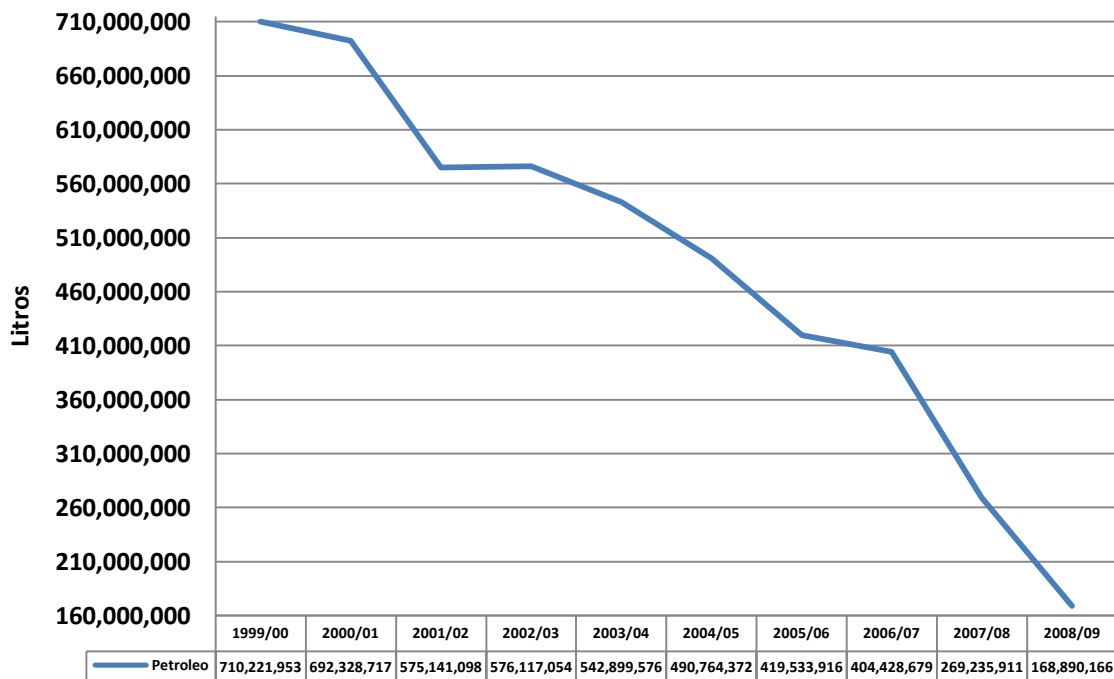


Gráfico 12. Petróleo consumido por los ingenios (zafras 1999-2009) (CNPR, 2009)

El balance de todos estos factores durante el periodo 1999/2009 (Cuadro 3.20) ponen de manifiesto que la agroindustria *no puede diversificarse* bajo las condiciones actuales; debido a que no hay crecimiento de la producción, productividad y competitividad en los factores de producción, recursos y capacidades; térmica y energéticamente no es autosuficiente y transita cada zafra entre la cima del éxito y el abismo de la crisis. Ha estado caracterizada por patrones sobresalientes de indefinición e incertidumbre sin opciones claras de mejoramiento tecnológico y comercial con una insuficiente infraestructura social y productiva y obligada a producir en tierras de muy baja calidad y a procesar caña de calidad heterogénea en fabricas obsoletas, lo que impide por lo menos satisfacer la demanda nacional del edulcorante.

Cuadro 3.20. Balance zafras 1999-2009 (con datos de CNPR,2011)

Indicador	Zafra 1999/2000	Zafra 2008/2009	Diferencia
Rendimiento de campo	68.872 t/ha	64.122 t/ha	-6.9 %
Superficie industrializable	611,297 ha	663,057 ha	+8.46 %
Caña molida neta	41,024,247 t	40,944,741 t	-0.2 %
Rendimiento de fábrica	11.15 Ton	11.67	+4.45 %
Producción de derivados de la caña de azúcar (Coproductos y subproductos)			
Sacarosa	4,696,032 t	4,962,495 t	+5.7 %
Etanol	67,050,234 L	14,504,473 L	-78.4 %
Melazas	1,630,087 t	1,491,243 t	-8.5 %
Cachaza	1,844,114 t	2,007,158 t	+8.8 %
Bagazo	12,478,668 t	12,576,430 t	-0.8 %
Energía eléctrica por quema de bagazo	682,786,359 kWh	701,403,133 kWh	+2.72 %
Generación de vapor por quema de bagazo	27,552,833 t	23,741,818 t	-13.9 %
Balance térmico y energético			
Consumo de energía eléctrica de CFE	38,758,930 kWh	46,862,759 kWh	+20.9 %
Consumo de Combustóleo de PEMEX	710,221,953 L	168,890,166 L	-76.2 %

García Chávez (2009, 2008 y 1997) apuntó que, si se pretende, por lo menos, incrementar la producción de azúcar en un 20 % para satisfacer la demanda nacional, se debería incrementar la superficie cosechable en un 18.6 %, o lograr un aumento en el rendimiento de campo del 21 % o un incremento en el rendimiento de fábrica del 24 %.

Es decir, su infraestructura social y productiva es insuficiente, produce en suelos de muy baja calidad³⁹ y procesa caña de calidad heterogénea en fábricas obsoletas, solamente posee un enfoque mayormente de crecimiento cuantitativo, dependientes del combustible para la continuidad de molienda y mantener la producción de azúcar, fábricas desbalanceadas como resultado del equipamiento instalado de baja eficiencia mecánica y termodinámica, sin independencia energética y sin la producción de otros derivados

Derivado de esta comprometida situación se deduce que para la industria azucarera, existen problemas de conceptualización y medida de la diversificación⁴⁰, que hacen difícil contrastar la hipótesis de su relación con los resultados de la empresa (ingenios azucareros). La utilización de distintos indicadores simples (rendimientos, factores de productividad) conduce a resultados diversos y la forma en que los investigadores han tratado tradicionalmente este tema (paradigma tecno-económico) es limitada y solo han logrado proporcionar una visión incompleta y potencialmente exagerada del alcance del proceso diversificador (Figura 3.20) porque han tendido a explicar los beneficios de la diversificación relacionada sólo a través de la explotación de economías de alcance, ignorando la contribución de la diversificación relacionada a la ventaja competitiva en el largo plazo. Una gran mayoría de los estudios efectuados concluyen y generalizan que una diversificación en negocios relacionados con el original (uso de subproductos en el ingenio azucarero), permite a la empresa obtener mejores resultados. En cambio, otros tantos llegan a una conclusión bien distinta: es la diversificación no relacionada la que está asociada con mejores resultados empresariales (venta de subproductos).

³⁹ Como no hay mejoramiento directo en el cultivo de caña, aunque siga creciendo la superficie, los rendimientos se estancan o decrecen porque se trabaja con plantas de muy baja calidad. En apariencia se invierte más en la segunda etapa del sistema agroindustrial que en la primera. Esto conlleva implicaciones nefastas para el subsector campo: el empobrecimiento generalizado tanto de los campesinos como de los suelos y el medio ambiente en general lo que implica una pérdida en las ventajas competitivas y dentro del discurso político, solo se refiere al problema de la falta de competitividad del campo cañero, sin embargo, el grueso de la capacidad agroindustrial es viejo, se utilizan herramientas de primera o segunda generación lo que implica una mayor cantidad de materia prima para la elaboración del producto final. Y cuando se actualiza parte del agroindustria, se hace mediante las importaciones de equipo que ya es obsoleto. El mercado nacional es la única fuente viable para seguir sosteniendo esta agroindustria y es hacia esa parte donde deben dirigirse los objetivos de reorganización, reestructuración y diversificación de la producción a través de la innovación tecnológica (Galindo, 2003)

⁴⁰ Para el análisis de la diversificación empresarial Huerta (2004) reportó numerosos índices. Sin embargo, la mayoría de los estudios econométricos disponibles se limitan a la relación entre la diversificación y el tamaño de la unidad productiva y concluyen que las grandes explotaciones son más especializadas (relación entre el tamaño y la diversificación). Los efectos de los factores a nivel macro, como políticas agrícolas, mercados, comercio, crecimiento de la población, y el cambio tecnológico en las decisiones de uso del suelo han sido relativamente bien estudiados. Sin embargo, los efectos de los factores a nivel micro, tales como las condiciones sociales y económicas de los productores y su comunidad, características físicas de la unidad productiva, tenencia de la tierra, insumos utilizados, acceso a crédito, riego, fuentes de ingresos no agrícolas, acceso a servicios como la educación, crédito, capacitación, extensión y asistencia técnica y los atributos específicos del proyecto de diversificación han recibido poca atención en la literatura

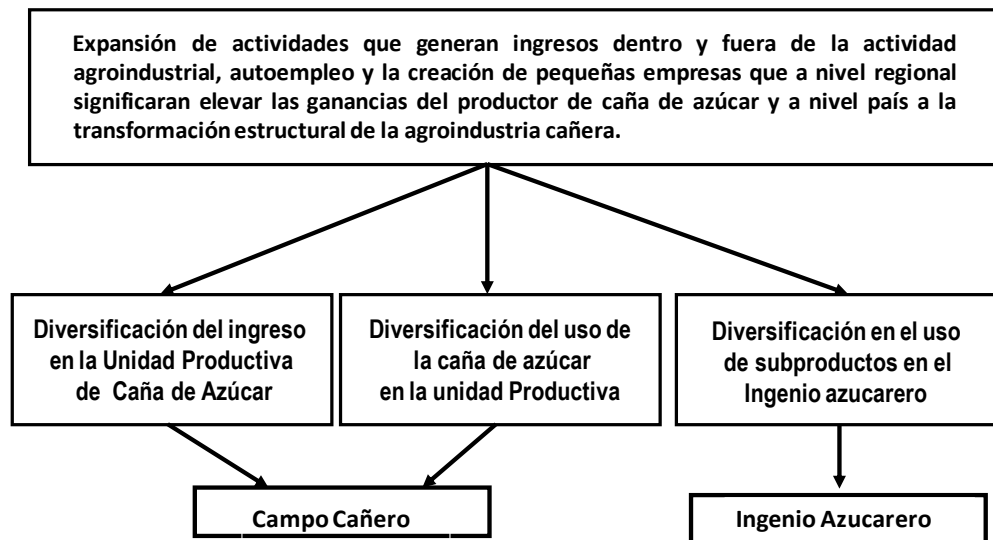


Figura 3.20. Niveles de Diversificación de la agroindustria azucarera (Aguilar *et al.*, 2009)

3.6. Justificación del estudio

Para Birch (2007) y Mirkov (2006), la diversificación de la industria azucarera como motor de desarrollo, se explica por las variables nivel de empleo, rentabilidad, precios, tecnología y calidad, e incluye a la agricultura y la propagación de nuevos cultivos. Sin embargo, a menos que exista una ventaja competitiva con productos ya establecidos, producidos con base en otras materias primas (madera, carbón, hule, petróleo, etcétera), será inevitable la competencia en el mercado.

Campillo *et al.* (2009) establecieron que la literatura sobre diversificación ha prestado una atención escasa al estudio de los factores que influyen sobre la propensión a diversificar. Por esta razón, se considera necesario un mayor conocimiento de los mismos de forma multidisciplinaria, el cual incluya trabajos procedentes de los ámbitos económico, financiero y estratégico para establecer alternativas productivas en los ingenios azucareros y municipios cañeros. Se deben incorporar variables de forma integradora y no individual; estas variables pueden ser: rendimiento de campo y agroindustrial, acceso a crédito, riego, tamaño de la unidad productiva, tenencia de la tierra, rendimiento de fábrica, bienes producidos (azúcar, etanol etc), tiempos perdidos, y eficiencia energética entre otras; cabe aclarar que el efecto de cada variable no puede ser definido con precisión sin una investigación multidisciplinaria.

Higgins *et al.* (2007) concluyeron que, para cada sector de la agroindustria azucarera, se deben entender los factores limitantes y las fuerzas conductoras que influyen en la competitividad, en un ámbito geográfico y temporal determinado por un conjunto de indicadores individuales. Este enfoque aún tiene algunas deficiencias; el principal inconveniente viene de la difícil interpretación de todo el conjunto de indicadores. Para evitar este problema, se ha sugerido que el análisis de la agricultura cañera puede ser abordado por la agregación de un conjunto multidimensional de indicadores y temas

complejos en un solo índice. Ante la complejidad del proceso de toma de decisiones dentro de las explotaciones agrarias, ha parecido adecuado realizar simulaciones del comportamiento futuro de las mismas a través de la Teoría de la Decisión Multicriterio para la toma de decisiones estratégicas (Gómez-Limón, 2008).

En este sentido, Franco (2008) mencionó que para evaluar el potencial de producir derivados de caña de azúcar como bioetanol y/o electricidad entre otros en los ingenios azucareros, destilerías o en la unidad productiva agrícola, se requiere determinar el potencial actual y la expansión espacial del sector caña de azúcar. Lo anterior debe tener en cuenta a las múltiples variables relacionadas con dicho crecimiento mediante el uso de técnicas de análisis espacial en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esto permitirá integrar todos los aspectos relevantes a considerar en la decisión de diversificarse, al tener una visión espacial de los factores limitantes que Schneider *et al.* (2001) denominaron de gran dispersión espacial e impacto (sociales, culturales, económicos, biológicos, climáticos, geofísicos, etc.).

Sin embargo, Cespón (2008) concluyó que para la diversificación agroindustrial de la caña de azúcar y el fomento de su uso como materia prima, debe garantizarse un flujo material estable, en cantidad y calidad, entre la materia prima del campo cañero, y el aprovechamiento industrial posterior de los residuos o subproductos

Aguilar *et al.* (2010), al analizar la distribución y patrón espacial de las zonas de abasto cañero y municipios productores, mediante la fotointerpretación de imágenes Landsat ETM+, la georeferenciación de los 57 ingenios azucareros y las bases de datos del sector para la creación de mapas cañeros nacionales y regionales, concluyeron que un alto índice de campo en cantidad y calidad (caña molida, rendimiento agroindustrial, de campo, fibra y sacarosa) y la capacidad del campo para cubrir la demanda de caña de azúcar al mercado (ingenios) son los factores que *a priori* permiten identificar las oportunidades de producir mayor caña de azúcar para otros proyectos de diversificación, mediante la adopción de tecnologías de gestión ambiental para incrementar los rendimientos y la incorporación paulatina de más superficie al cultivo (Cuadros 3.21 y 3.22 Figuras 3.21 al 3.25)

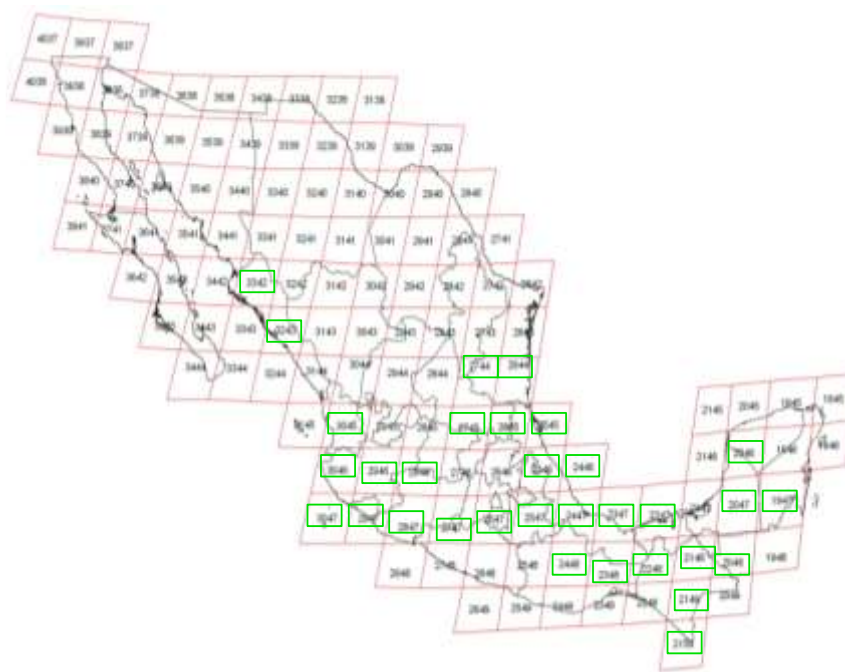


Figura 3.21. Imágenes Landsat de las zonas cañeras

Cuadro 3.21. Parámetros de campo de la agroindustria azucarera nacional

Estatus	Capacidad de Abastecimiento de caña (%)	Rendimiento de Campo (t/ha)	Indice de campo
Muy Alto	> 85%	> 80	0.225-0.25
Alto	80 - 85 %	80-75	0.20-0.225
Medio	75 - 80 %	75-65	0.175-0.20
Bajo	70 - 75%	65-60	0.15-0.175
Muy Bajo	< 70%	< 60	<0.15
Promedio nacional	80.1%	65	0.1625

Cuadro 3.22. Indicadores del campo de la agroindustria azucarera

Ingenio	Capacidad de campo (%)	Rendimiento de campo (t/ha)	Ingenio	Capacidad de campo (%)	Rendimiento de campo (t/ha)	Ingenio	Capacidad de campo (%)	Rendimiento de campo (t/ha)
Mahuixtlán	101.6	70.563	San José de Abajo	84.8	57.583	La Gloria	78.5	81.846
El Mante	98.8	60.471	Puga	84.6	60	San Cristóbal	78.4	51.087
Los Mochis	98.3	59.887	Quesería	84.5	67.102	Constancia	78.2	53.401
Emiliano Zapata	94.3	102.043	El Carmen	84.4	66.872	El Molino	77.9	64.163
Tres Valles	93.9	48.927	El Higo	83.9	76.381	Bellavista	75.4	69.414
Ameca	93.4	79.926	Zapoapita	83.9	68.743	Tala	72.9	79.372
San Nicolás	92.3	56.084	Pedernales	82.5	80.639	San Rafael	72.6	44.633
Melchor Ocampo	90.9	103.418	Lazaro Cárdenas	82.2	74.555	La Primavera	71.7	96.37
Central Progreso	90.5	43.189	San Miguelito	82	71.09	Calipam	70.3	76.967
La Providencia	89.3	58.529	Cuatotolápan	81.3	55.939	Santa Rosalía	68.9	55.999
El Modelo	89.2	82.675	Huixtla	81.3	76.415	San Gabriel	68.5	54.11
Jose Maria Morelos	88.4	61.685	Casasano	80.8	108.44	San Francisco	68.2	58.033
Atencingo	88.3	108.939	La Margarita	80.5	41.8	Benito Juárez	64.4	43.965
Adolfo López Mateos	87.7	55.76	Santa Clara	80.5	75.523	El Refugio	64	56.102
Tamazula	87.7	108.302	C. Motzorongo	79.6	54.056	ElDorado	62.6	112.16
San Miguel Naranjo	87.4	57.8	El Potrero	79.2	59.937	San Pedro	62.3	62.918
Pujilic	87.1	89.095	Plan de San Luis	79	51.002	Aszuremex	61.5	48.487
Aaron Sáenz	85.3	74.352	Alianza Popular	78.9	43.325	La Concepción	36.9	64.082
Plan de Ayala	85.1	48.909	La Joya	78.7	40.354	Independencia	28.1	44.74

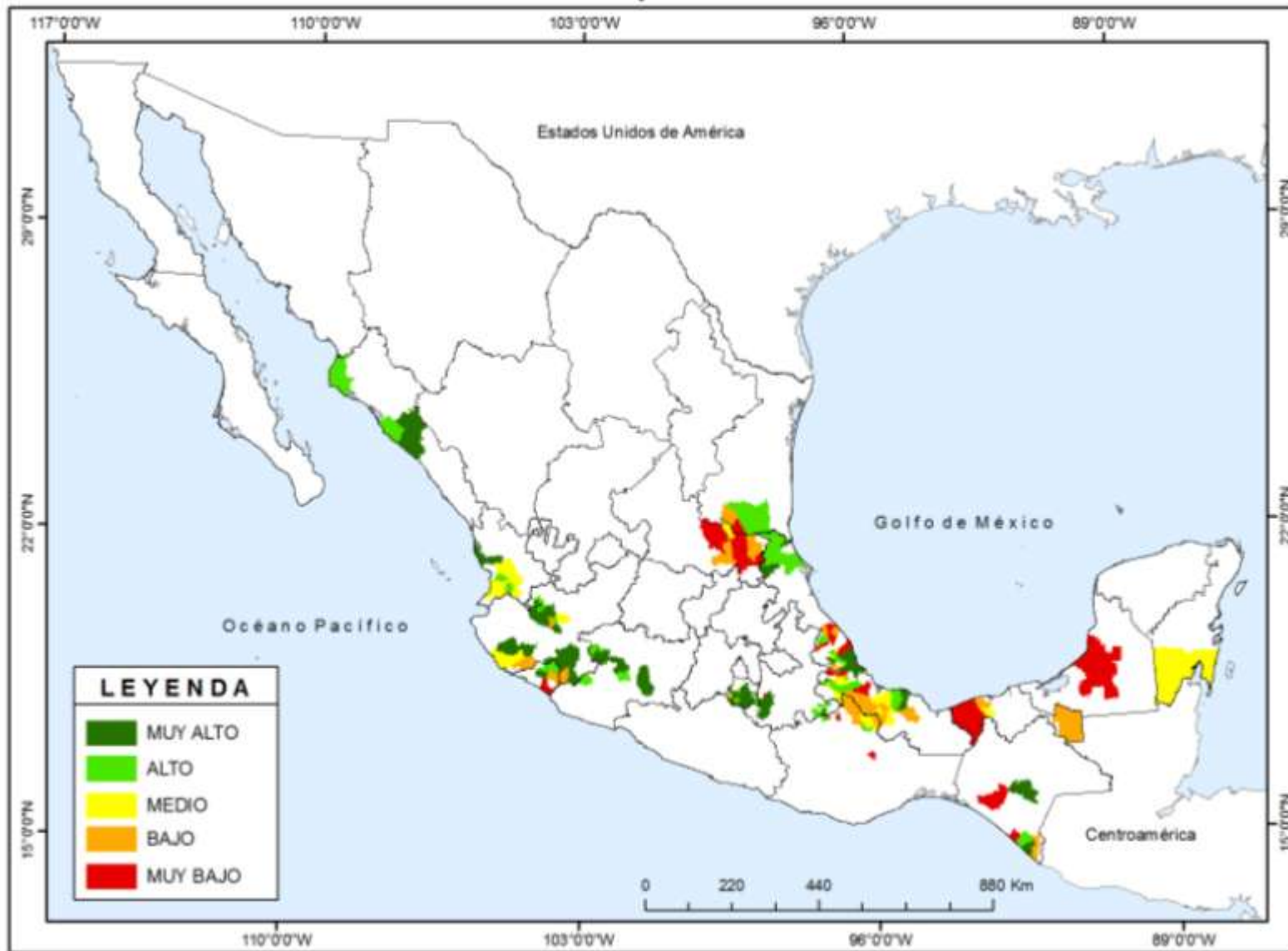


Figura 3.22. Rendimiento de campo de municipios productores de caña de azúcar (con datos de SIAP, 2011)

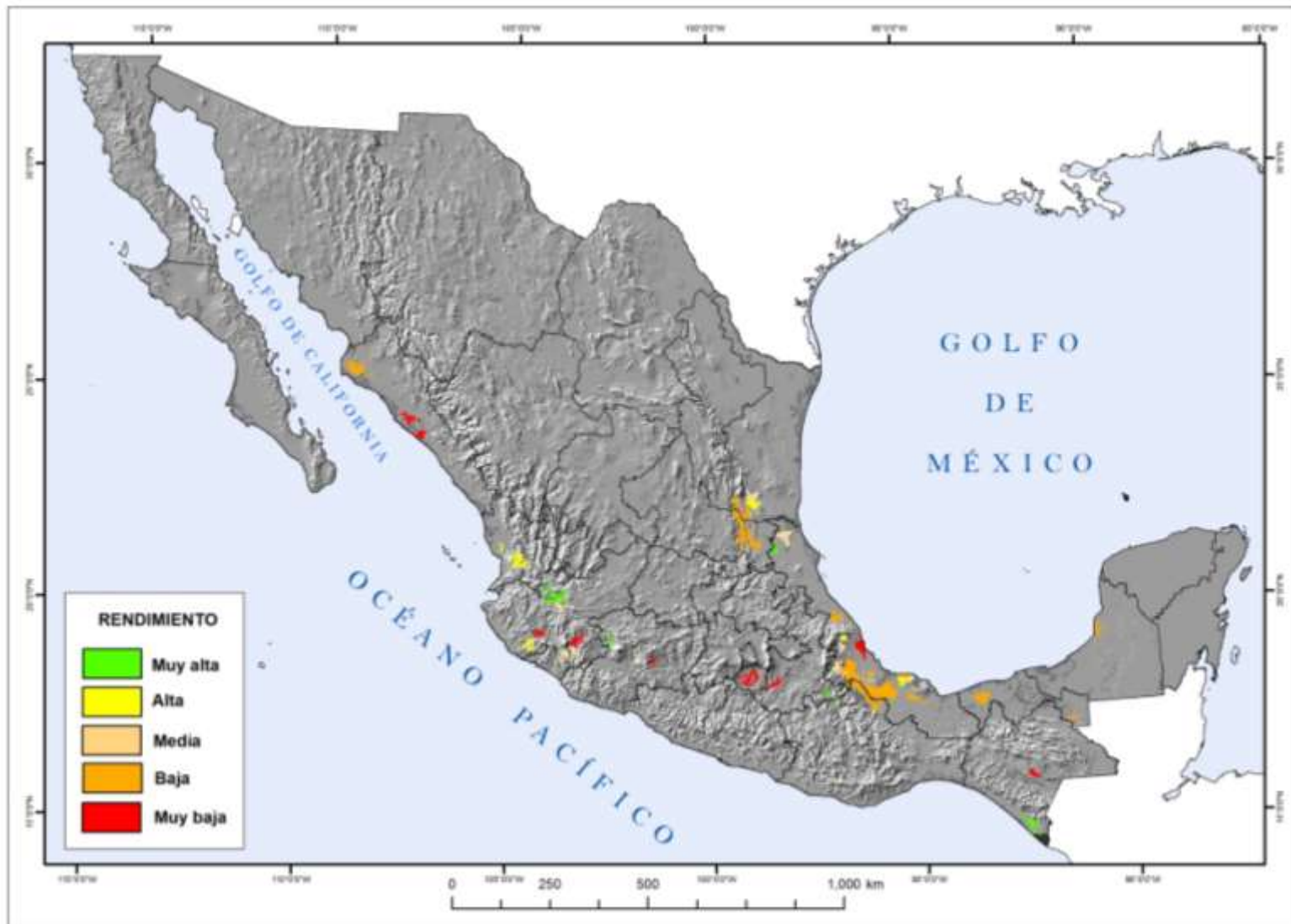


Figura 3.23. Rendimiento de campo de ingenios azúcareros (con datos de CNIAA, 2011)

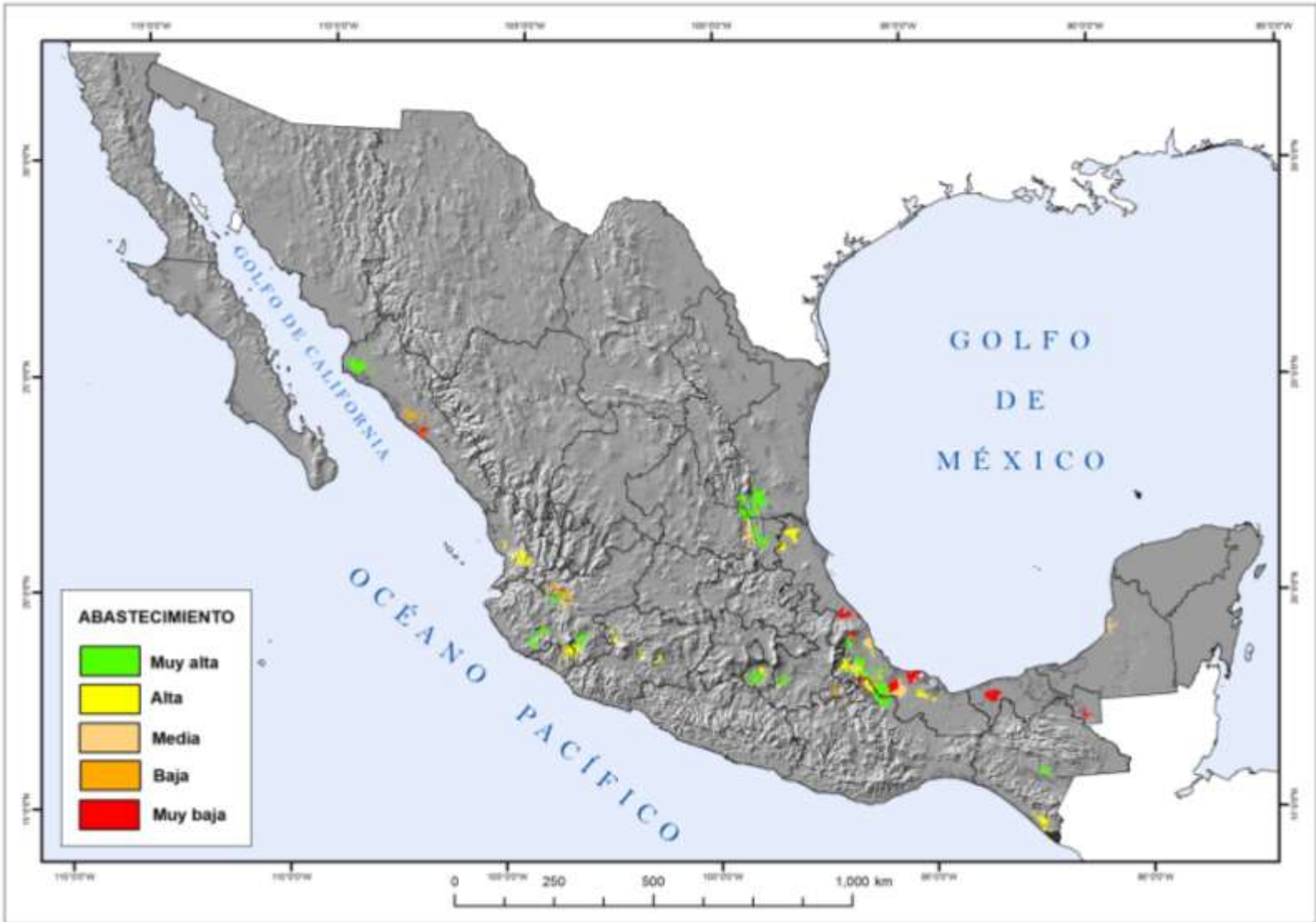
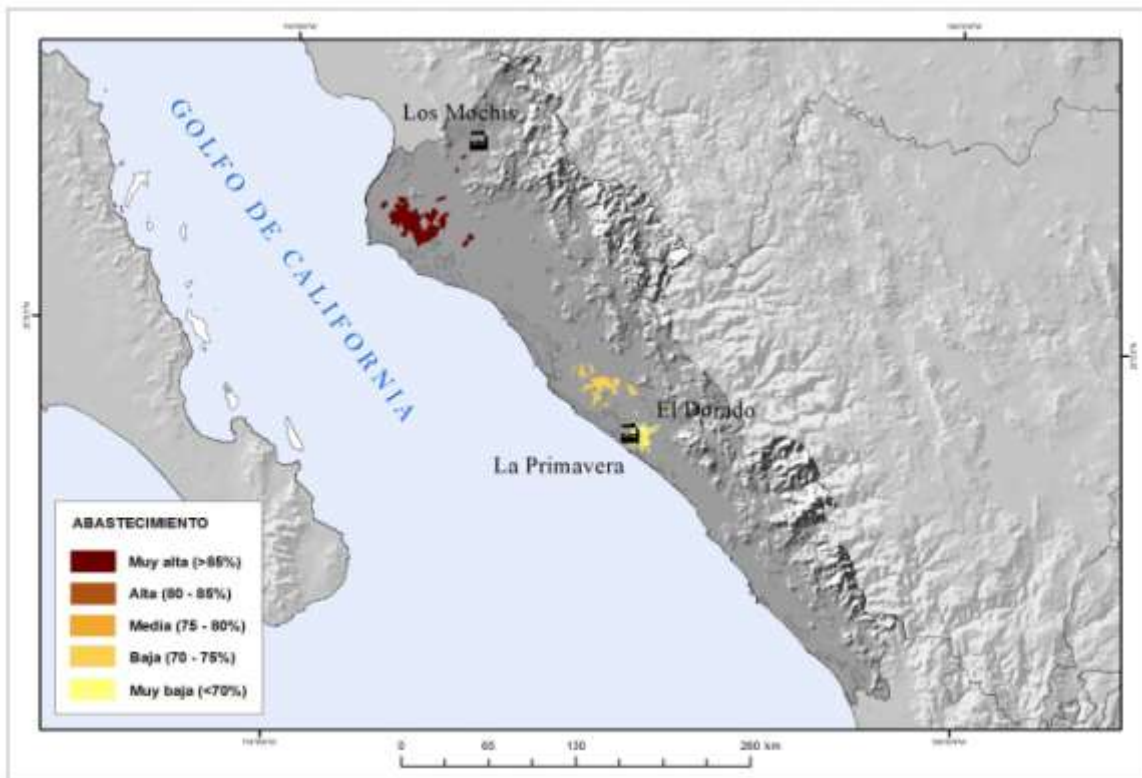
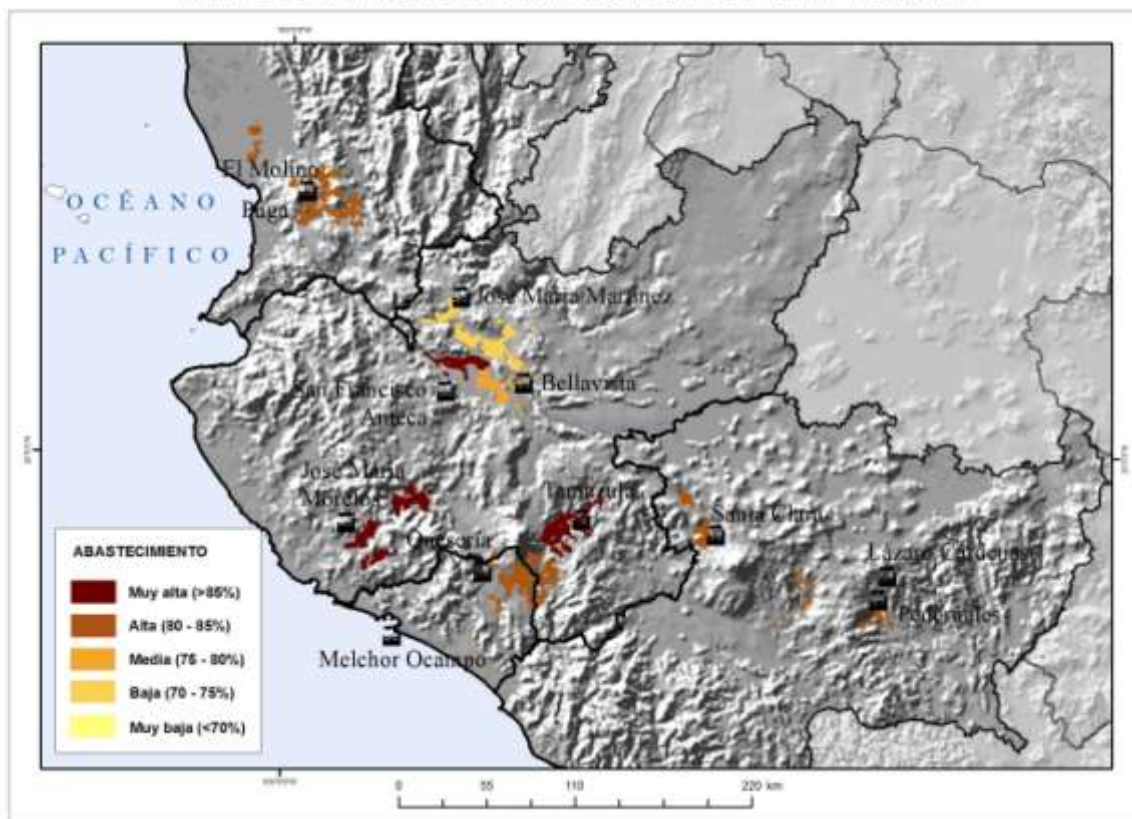


Figura 3.24. Capacidad de campo de ingenios azúcareros (con datos de FIRA, 2009)

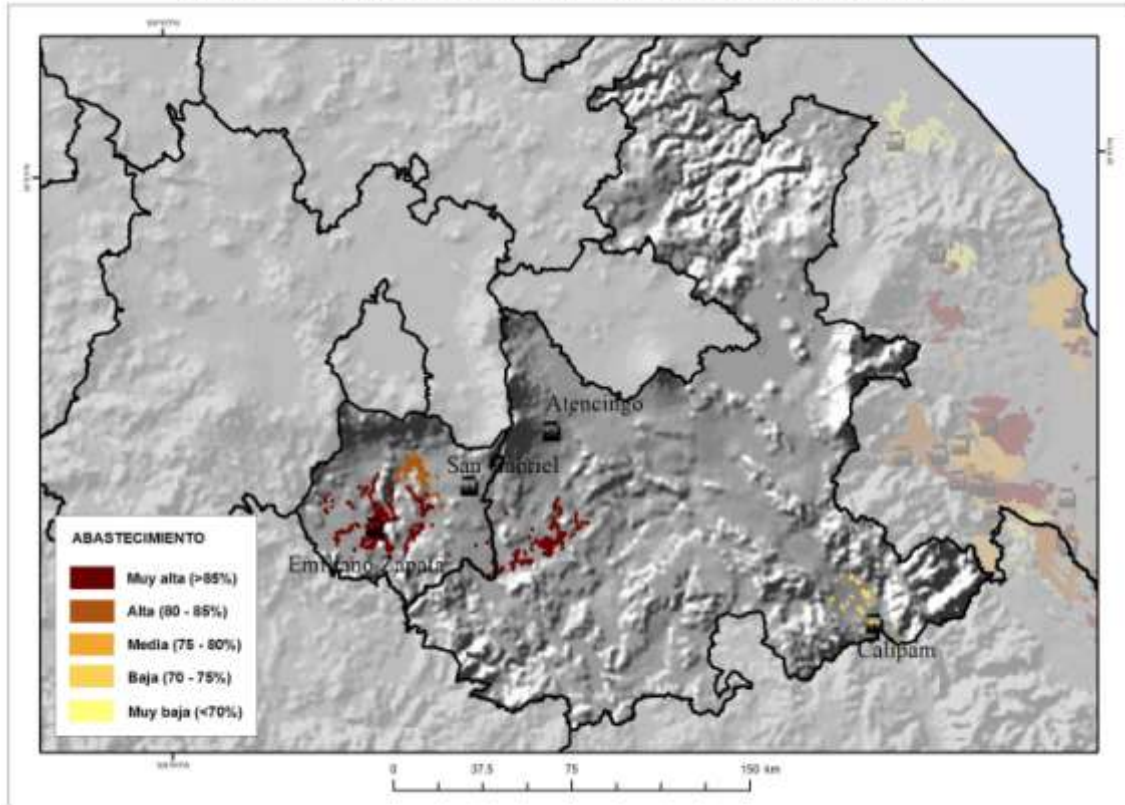
ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO DE CAÑA - REGIÓN 1



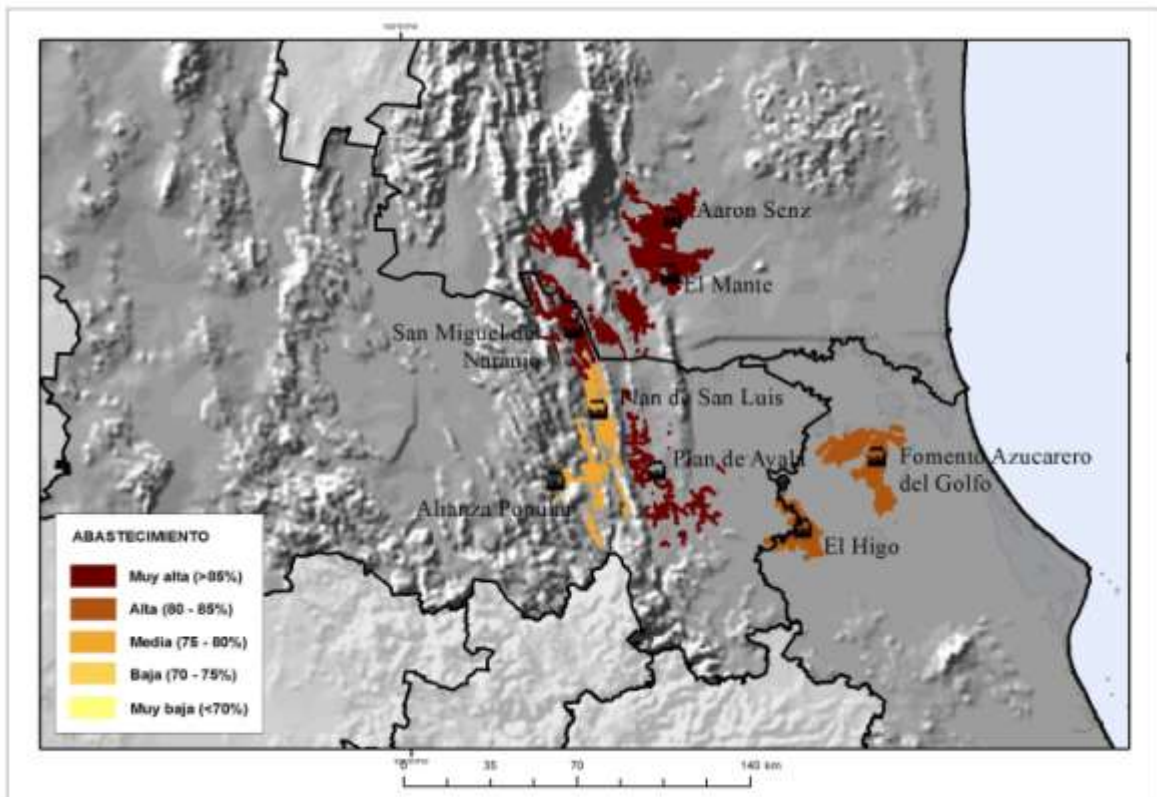
ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO DE CAÑA - REGIÓN 2



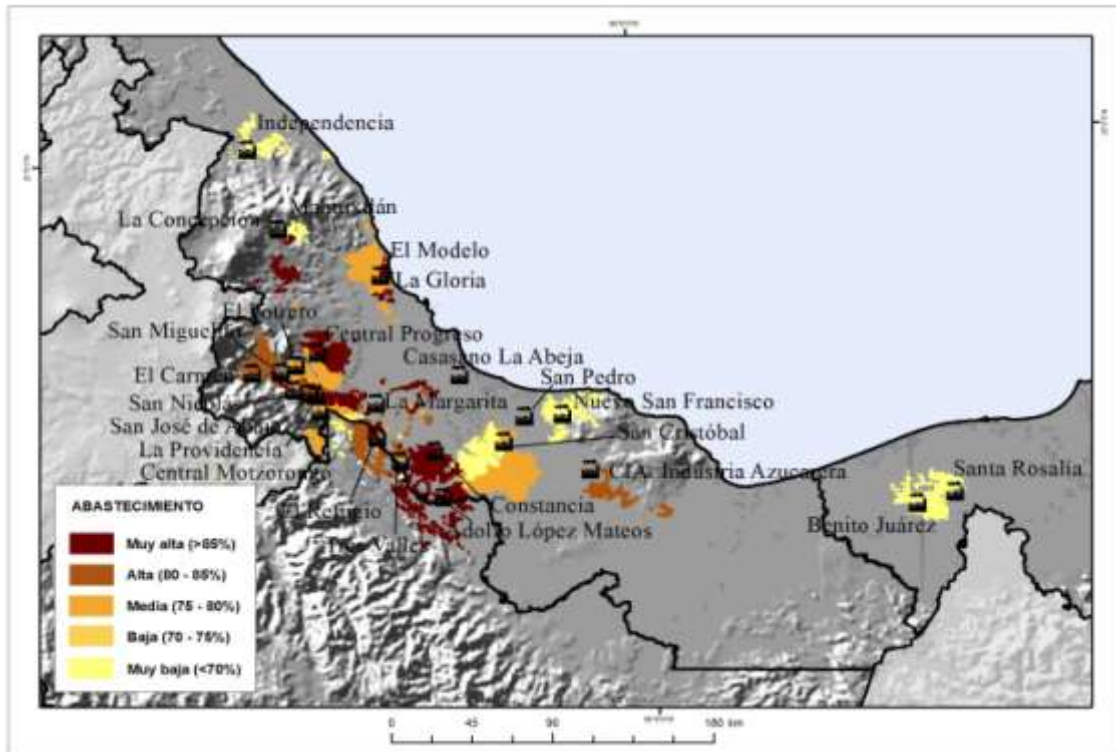
ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO DE CAÑA - REGIÓN 3



ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO DE CAÑA - REGIÓN 4



ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO DE CAÑA - REGIÓN 5



ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO DE CAÑA - REGIÓN 6

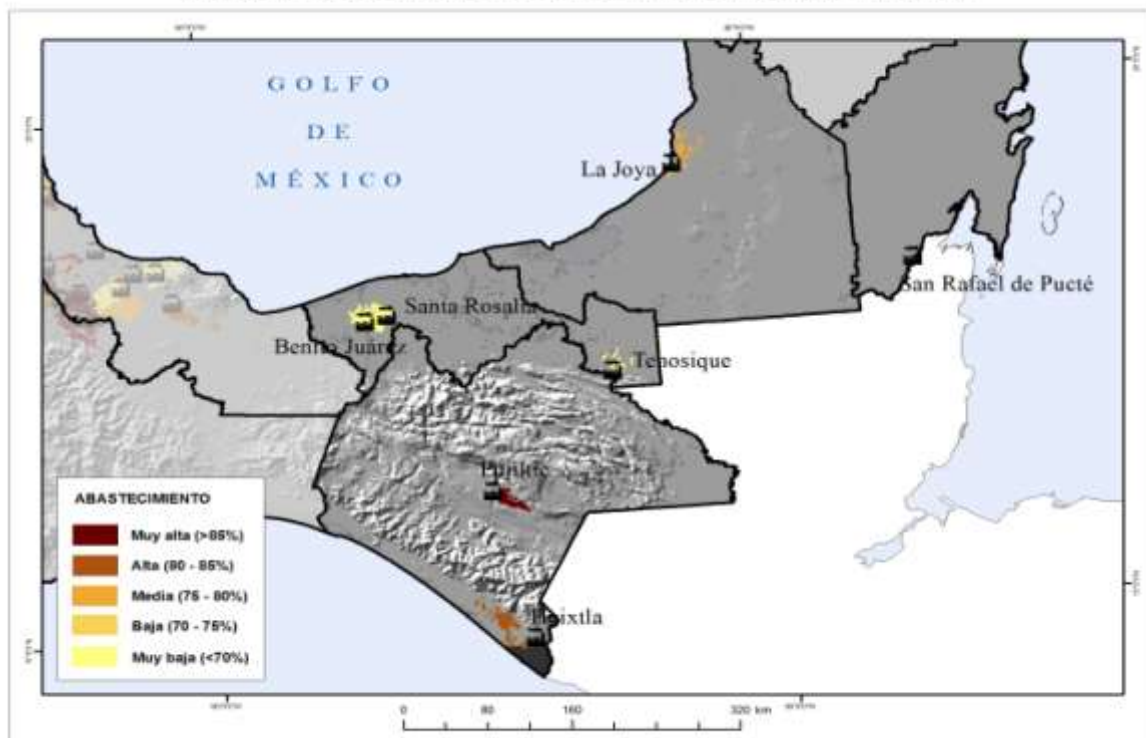


Figura 3.25. Capacidad de campo de ingenios azucareros por región productiva (con datos de FIRA, 2009)

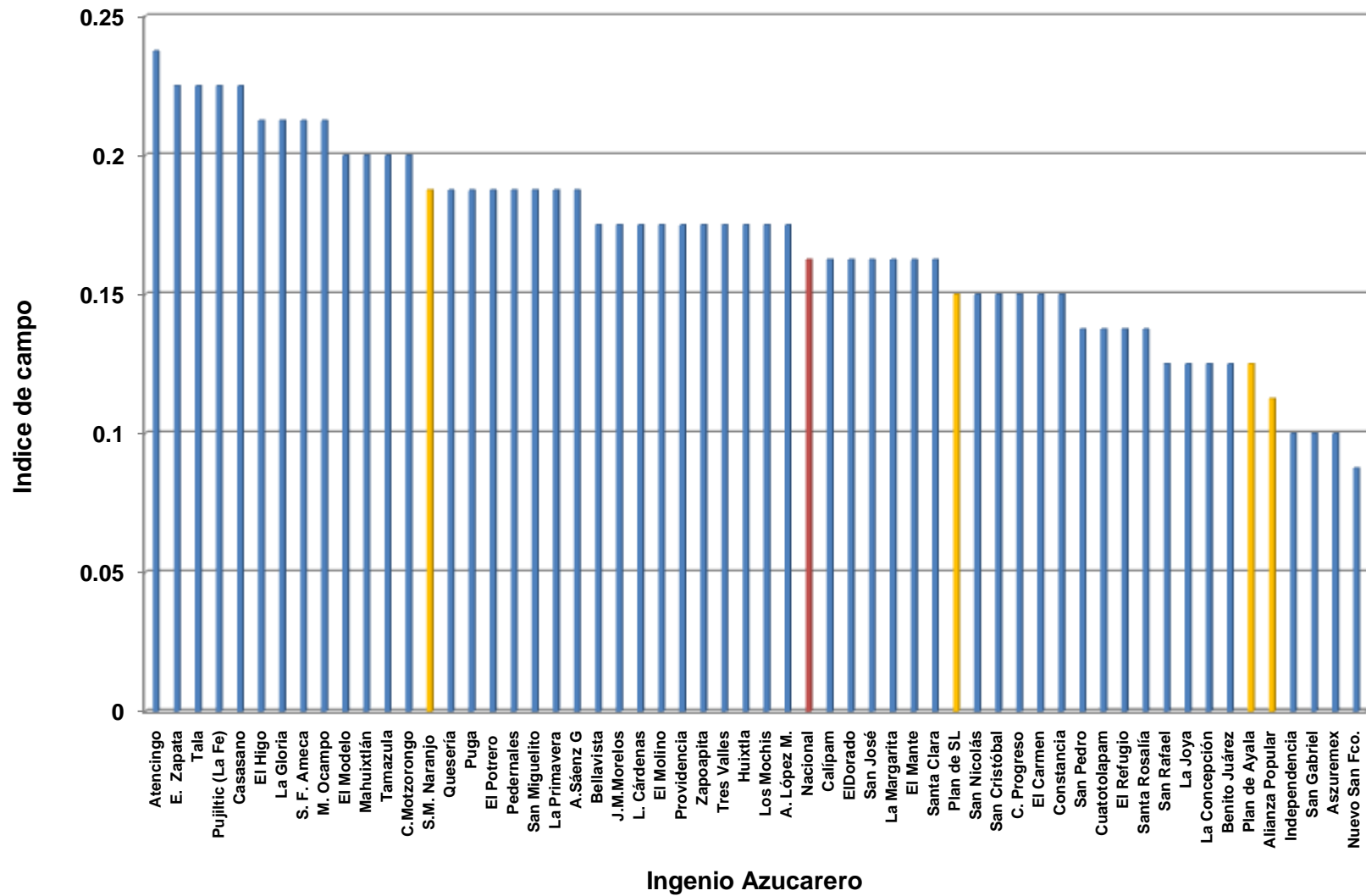


Figura 3.26. Índice de campo de ingenios azúcareros (Aguilar *et al.*, 2010)

Los indicadores establecen que solamente, 33 campos cañeros resultan ser competitivos, al cubrir más del 80% de las necesidades de caña de sus ingenios, 14 campos son de media a baja competitividad y 10 campos no son competitivos. Los campos cañeros no son competitivos debido a que sus rendimientos son menores a 60 toneladas por hectárea; por lo tanto, el rendimiento de campo por ciclo del cultivo⁴¹ de caña de azúcar y sus indicadores derivados, son parámetros esenciales para la determinación de los estimados cañeros, así como para la producción de azúcar; esto, a su vez, está muy relacionado con el proceso de toma de decisiones en el proceso diversificador (Renouf, 2010; Roebeling *et al.* 2007)

En este sentido, para Waclawovsky *et al.* (2010) la obtención de altos rendimientos es la clave para el desarrollo de cultivos energéticos como la caña de azúcar y la generación de subproductos agrícolas que permitan la sostenibilidad y eviten la competencia con la producción de alimentos, es decir, un incremento en la producción de etanol u otros derivados de la caña de azúcar, sin disminución de la producción de azúcar, debe ser logrado mediante el incremento del rendimiento existente en los cultivos de caña de azúcar

Dominguez *et al.* (2004) concluyeron que la variación de rendimientos en las zonas de abasto de los ingenios son explicados por los componentes ecológico, socioeconómico y tecnológico del agroecosistema. Para los indicadores del campo cañero mexicano, Enriquez (2009) enfatizó que resulta contradictorio pretender hoy impulsar un proyecto de diversificación, por ejemplo, los biocombustibles, cuando el problema es la recuperación de los niveles de productividad en el campo cañero con tendencia a la baja y la heterogeneidad de la productividad. Por lo tanto, para la transformación del agro cañero mexicano es necesario generar conocimiento de los agroecosistemas regionales, su diversidad de prácticas agrícolas, los propósitos de producción, y la asociación de factores que determinan el rendimiento; es necesario realizar una fase de diagnóstico antes de iniciar o fomentar acciones de desarrollo, porque en la región convergen factores limitantes ecológicos, económicos, sociales y político-culturales que generan problemas multidimensionales.

En relación con lo anterior, la experimentación tradicional de campo ha proporcionado el conocimiento empírico de los efectos de clima, suelo, variedades, manejo, y los factores derivados de sus interacciones en la productividad de la caña de azúcar. La comparación de datos experimentales a través de unidades de manejo puede permitir la identificación de limitantes a la producción. Sin embargo, por su propia naturaleza, la experimentación no puede "mostrar" el número infinito de combinaciones de los factores de impacto de la productividad. Por lo tanto, existe la necesidad de cuantificar la importancia de diferentes procesos fisiológicos, tipos de suelo y los elementos climáticos en su contribución a la variación de rendimientos, e incorporar estas relaciones en los modelos de crecimiento espacial en una forma cuantitativa para

⁴¹ Ciclo azucarero es el periodo comprendido del 1 de octubre de un año al 30 de septiembre del año siguiente donde la fase de crecimiento se inicia desde los 120 días y culmina a los 270 días

ayudar a entender el comportamiento de los sistemas agrícolas complejos (Robertson *et al.*, 1996)

Sánchez y Malillos (1998) concluyeron que la información disponible sobre regionalizaciones agrícolas en México tiene la desventaja de referirse a entidades federativas, porque utiliza la información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, cuya unidad básica de análisis es el municipio, y sus variables son las características de las unidades de producción agrícolas. Por tanto, se pierde información sobre la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas, y de la asociación de los factores que los determinan. Dicha información es básica en el diseño de estrategias regionales de desarrollo agrícola.

Los diversos índices de diversificación en la literatura (Coeficiente de Concentración, Índice de Herfindahl, Índice de Entropía, Índice de Diversificación de Cultivos etc.), representan un constructo demasiado complejo para ser captado por medidas de diversificación generales; normalmente los estudios sobre diversificación se han llevado a cabo mediante diferentes metodologías, pero sin controlar los distintos entornos institucionales ni los períodos temporales (Mayer y Whittington, 2003)

Si tan solo se considera el subsistema campo, la heterogeneidad del campo cañero mexicano con 15 regiones productoras de caña de azúcar, con diferentes condiciones fisiográficas y edafológicas, explica el porqué se obtienen rendimientos promedios tan bajos y tan variables entre ingenios; tal variación en los rendimientos prevalece a nivel zona de abasto de cada ingenio, incluso en una misma región productora, pues aún con dimensiones relativamente pequeñas, existen diferentes condiciones físico-biológicas. El problema además, rebasa el componente ecológico y tecnológico, abarcando el social y el económico. A la fecha no existen trabajos sobre la problemática del campo cañero que hayan integrado tanto las condiciones naturales de la zona y la tecnología aplicada, como las características socioeconómicas del productor (Domínguez *et al.*, 2004)

En relación con la diversificación agrícola, gran parte de la investigación se ha basado en datos cuantitativos de los factores que conducen a la diversificación. Los estudios suelen resaltar factores internos (tamaño y tipo de explotación, ubicación geográfica, educación, edades etc.) y factores externos (físicos y socioeconómicos). Este hallazgo es consistente con Higgins *et al.*, (2007) e Ilbery *et al.* (1997) para quienes la diversificación es el resultado de factores internos y externos.

Por lo tanto, la aplicación de técnicas de modelado espacial (Evaluación Multicriterio en SIG) para evaluar opciones de diversificación a nivel región, al combinar la información de varios criterios para formar un solo índice de evaluación o indicador compuesto para problemas complejos y multidimensionales, podría generar información que: (i) permita a los grupos de la industria e investigadores analizar la cadena productiva y (ii) que proporcione un marco de análisis que describa los principales aspectos biofísicos y económicos de la producción de caña de azúcar de la región. Con base en lo anterior se podrá explorar la factibilidad de adopción de empresas en una determinada región productora al evaluar todos los factores limitantes base: producción de caña de azúcar, cosecha, transporte y procesamiento; esta evaluación puede generar mayores ventajas

a través del desarrollo de una herramienta más flexible para el análisis de la agroindustria de la caña de azúcar como cadena de valor (Thorburn *et al.*, 2006; Sahoo *et al.*, 2000).

En la literatura científica no existe un modelo único de diversificación para la agroindustria azucarera; el modelo nacional aplicado en las regiones cañeras no contiene el potencial teórico y metodológico para desarrollarse y sólo posee una concepción analítica enmarcada en la historia económica y social, y en supuestos críticos, en lugar de la perspectiva económica o cultural. Mas que tecnología, mano de obra, y capital, las regiones cañeras carecen de la materia prima necesaria y la capacidad de producción requerida para diversificarse; asimismo, los modelos desarrollados en un país no siempre son aplicables a otros debido a diferencias en las estructuras empresariales; agrícolas, asimismo, el marco teórico y el método de análisis de la diversificación en México no aborda la mayoría de los factores socioeconómicos y otras cuestiones que atañen al debate político, a la cultura, la tecnología, el conocimiento y la educación (Aguilar *et al.*, 2009).

Tenerelli (2008) concluyó que uno de los problemas más críticos en la producción de biocombustibles o derivados de la caña de azúcar y otras agroindustrias es el suministro de biomasa. Una mayor interacción de las biorefinerías con la agricultura puede provocar cambios negativos del uso del suelo, sobreexplotación de la fertilidad y conflictos por el uso del suelo. Esas cuestiones deben abordarse teniendo en cuenta la dimensión espacial que comprende los impactos a corto y a largo plazo en los sistemas productivos actuales, para identificar algunos criterios y evaluar el potencial de los cultivos locales

Nova (2004) considera que la crisis de la producción azucarera, los altos costos, y la baja rentabilidad y competitividad se deben a la reducción drástica de la disponibilidad de recursos para cubrir las necesidades básicas de la industria, y a la falta de estímulos a los productores, particularmente al productor agrícola.

A pesar de la extensa literatura que afirma que la diversificación juega un papel importante en la rentabilidad y estabilidad de la agricultura y agroindustria, hay pocos estudios empíricos sobre los factores que afectan a la diversificación (Ashfaq *et al.*, 2008); en México, como en muchos otros países latinoamericanos, las políticas relacionadas con la diversificación de la industria azucarera han surgido desde las perspectivas de universalizar los criterios económicos del modelo agroindustrial basados en los principios neoliberales de productividad y fuerte aplicación de insumos 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).

Para la diversificación es necesario generar y validar tecnologías en cultivos alternativos para las distintas zonas geográficas, tomando en cuenta el potencial de cada cultivo establecido en su mejor condición agroecológica (Keating *et al.*, 2002).

Pero, antes de proceder al análisis de alternativas en la producción de caña de azúcar, derivadas de aspectos ambientales como el cambio climático, o económicas como los precios internacionales del azúcar y el etanol, es necesario partir de una descripción de rendimientos de campo, agroindustria e insumos, así como los costos y utilidades en la producción de caña de azúcar y otros derivados (Roebeling *et al.*, 2007).

Esta complejidad, además de los aspectos controvertidos que han rodeado a los procesos de diversificación ha originado que el estudio de sus determinantes se haya enfocado desde teorías muy distintas; por ello, una alternativa metodológica es el uso de la evaluación multicriterio tanto en el análisis como en la toma de decisiones.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es identificar a los factores que determinan el potencial de las zonas cañeras, municipios e ingenios azucareros de México para establecer proyectos de diversificación; lo anterior, mediante el uso del método multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process) en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica.

3.7. Aproximación metodológica para el análisis de la diversificación de zonas cañeras

El área de estudio comprendió, para la escala nacional, las zonas de abasto cañero de los 57 ingenios azucareros de México; para el análisis regional se consideró la zona cañera de la Huasteca Potosina, y para la escala local se estudió el área de abasto del ingenio San Miguel El Naranjo. Se empleó una metodología multicriterio espacial que combina un enfoque inductivo y deductivo con componentes cualitativos y cuantitativos basados en las estrategias de diversificación y en el proceso de toma de decisiones de la población rural en materia de empleo agrícola cañero y manejo de empresas relacionadas.

La mayoría de los modelos de decisión se refieren a criterios fácilmente medibles. Sin embargo, muchos de los problemas del mundo real requieren la toma de decisiones sobre la base de múltiples criterios tangibles e intangibles. No es la precisión lo que determina la validez de una decisión, sino la ponderación de la importancia que se asigna a los factores en consideración (políticos, sociales, económicos y técnicos).

Entre el número limitado de métodos conocidos de manipulación de múltiples criterios de decisión de problemas, el AHP es una herramienta o método matemático multicriterio de gran alcance y flexible, que incorpora los aspectos cualitativos y cuantitativos de una decisión, toma en cuenta posibles efectos de interdependencias y expresa los puntos de vista en diferentes dimensiones y escalas (Zahedi, 1987).

Para el análisis de los factores que inciden en la aptitud para diversificar la agroindustria azucarera de la zona de estudio, 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).

Nardo *et al.* (2005) han señalado que los pasos que se deben seguir para construir indicadores o índices compuestos son: 1) Desarrollo de un marco teórico; 2) selección de indicadores básicos; 3) análisis multivariable; 4) análisis de datos faltantes; 5) normalización; 6) ponderación y agregación; 7) análisis de robustez y sensibilidad; 8) análisis de la relación de los índices calculados con otras variables 9) valorización del indicador compuesto con los datos iniciales; 10) presentación y difusión. La realización del cálculo simultáneo del mismo indicador para diversos estados o regiones, permite verificar dónde se encuentran las principales ventajas comparativas para cada estado o región, así como también observar en que sectores hay mayor o menor coincidencia estructural. El Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) es una técnica que ha sido extensamente adoptada como el medio para tomar decisiones complejas, y que puede ser adaptada para construir indicadores compuestos. AHP es equivalente a la optimización de una función de utilidad multiatributo.

Silva (2009) propone los siguientes pasos en el análisis AHP:

1. Definición del problema
 - 1.1 Identificación del problema
 - 1.2 Identificación de los objetivos y las alternativas
 - 1.3 Caracterización de las alternativas
2. Eliminación de alternativas no viables
 - 2.1 Determinación de criterios indispensables (objetivo)
 - 2.2 Eliminación de alternativas
3. Estructuración del modelo de decisión en forma jerárquica, lo que incluye:
 - 3.1 Formulación de objetivos, subobjetivos y alternativas principales
 - 3.2. Identificación de otros participantes del proceso de toma de decisión
4. Evaluar elementos del modelo (comparaciones por pares)
5. Sintetizar los juicios e identificar la mejor alternativa
6. Examinar y verificar la decisión adecuada
7. Documentar la decisión.

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, el 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; Nagesha, 2006). Es decir, se hace

necesaria la determinación de la importancia relativa (peso relativo) de cada uno de los factores y de los criterios, teniendo en cuenta que los mismos forman una jerarquía. Dichas comparaciones por pares permiten construir las matrices de Saaty ($A=akl$), a partir de las cuales se estiman los correspondientes vectores de prioridades ($w_1...w_k...w_n$). Para la realización de estas comparaciones, y para determinar el peso entre cada par de factores, Saaty (1990, 1977) desarrolló una escala de 1 a 9 (donde 1 equivale a una importancia similar entre ambos atributos, mientras que en el otro extremo, 9 representa una importancia absoluta del primer atributo respecto del segundo) (Figura 3.26)

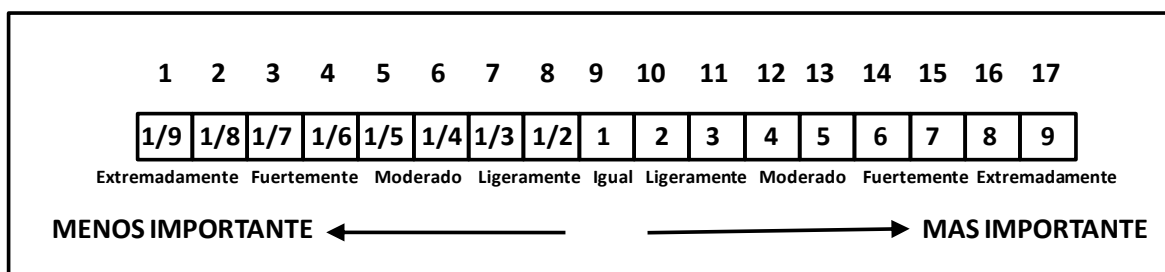


Figura 3.26. Escala de 17 jerarquías de importancia relativa para la construcción de la matriz de comparación entre pares de factores o variables decisión (Díaz, 2000).

De esta forma se genera una matriz con la siguiente estructura (matrices de Saaty):

$$A_k = \begin{bmatrix} a_{11k} & a_{12k} & \dots & a_{1nk} \\ a_{21k} & a_{22k} & \dots & a_{2nk} \\ \dots & \dots & a_{ijk} & \dots \\ a_{n1k} & a_{n2k} & \dots & a_{nnk} \end{bmatrix}$$

donde a_{ijk} representa el valor de comparación entre el atributo i y el atributo j para el individuo k . Esta matriz cuadrada reúne dos propiedades fundamentales: (a) que su diagonal principal está formada por unos ($a_{ijk}=1$ para todo i), y (b) que se verifica la reciprocidad en las comparaciones por pares (si $a_{ijk}=x$, entonces $a_{jik}=1/x$) (Grimaldi, 2011; Şener *et al.*, 2010; Podvezko, 2009; Bana e Costa, 2008). Los valores otorgados a las comparaciones por pares representan las ponderaciones concedidas a los correspondientes atributos por un decisor: $a_{ijk}= w_{ik}/w_{jk}$ para todo i y j . Así, la matriz de Saaty puede también expresarse como sigue:

$$A_k = \begin{bmatrix} \frac{w_{1k}}{w_{1k}} & \frac{w_{1k}}{w_{2k}} & \dots & \frac{w_{1k}}{w_{nk}} \\ \frac{w_{2k}}{w_{1k}} & \frac{w_{2k}}{w_{2k}} & \dots & \frac{w_{2k}}{w_{nk}} \\ \dots & \dots & \frac{w_{ik}}{w_{jk}} & \dots \\ \frac{w_{nk}}{w_{1k}} & \frac{w_{nk}}{w_{2k}} & \dots & \frac{w_{nk}}{w_{nk}} \end{bmatrix}$$

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).

3.8. Análisis de Municipios y Estados productores

Para la determinación de los factores relevantes de los estados y municipios productores de caña de azúcar de las zonas de estudio y para la construcción de un índice de diversificación de acuerdo con la metodología de Eakin *et al.* (2011), Tienwong (2009), Bojórquez (2009), Windle (2005), Derya *et al.* (2002) y Diaz (2000), un conjunto de variables espaciales fueron recopiladas a partir de la documentación especializada existente sobre este tipo de estudios, pero, sobre todo, en función de la disponibilidad de información para el análisis del sistema producto caña de azúcar. El paso inicial fue la evaluación con la integración SIG y evaluación multicriterio seguido por la normalización de los factores, ponderación y combinación con sus pesos y, por último, la generación del mapa de aptitud. Los procedimientos y los algoritmos disponibles en el módulo AHP del software ESRI ArcGis 9.2 se utilizaron para calcular los pesos de los factores y desarrollar una representación espacial de cada factor (mapas temáticos) (Figuras 3.27 al 3.29) y el análisis final como mapa de salida de acuerdo con la escala de Saaty (Cuadros 3.23 y 3.24). Los datos para el análisis se tomaron del Padrón de Productores de Caña de Azúcar (Zafra 2006-2007) (SIAP, 2010, 2009); Plan rector del sistema producto caña de azúcar (ASERCA, 2004); Manual Azucarero Mexicano 2010 (CNIAA, 2010) y los resultados de la zafra 2009/2010 (CNPR, 2011)



Figura 3.27. Estados, regiones, municipios cañeros y zonas de abasto de ingenios azucareros



Figura 3.28. Municipios cañeros por estado productor



Figura 3.29. Distribucion de ingenios azucareros por municipio productor de caña de azúcar

Cuadro 3.23. Factores para el análisis de la diversificación de municipios cañeros (índice de diversificación)

RC	Rendimiento de campo de la unidad productiva cañera (t/ha)	DI	Superficie cañera con distancia al ingenio mayor a 5 km (%)
RS	Superficie cañera en ciclo resoca (%)	AT	Unidades productivas sin asistencia técnica y capacitación (%)
PL	Superficie cañera con afectaciones al cultivo por plagas y enfermedades (%)	MO	Unidades productivas sin mano de obra contratada (%)
TM	Tamaño de la unidad productiva cañera (ha)	ID	Índice de Desarrollo Humano (salud, educación e ingreso)
TE	Tenencia de la tierra (% régimen ejidal)	SP	Unidades productivas sin acceso a servicios públicos (electricidad, agua, etc) (%)
RG	Superficie cañera con riego (%)	IC	Superficie cañera con diversificación de ingresos diferentes a la caña de azúcar (%) (forestal, acuícola, ganadería, turismo, remesas, pensión o jubilación, jornales etc) (experiencia en proyectos de diversificación no cañera)
CR	Unidades productivas con acceso a crédito (%)	DE	Destino de la producción cañera diferente a ingenios (trapiche, panela, semilla, alimento de ganado y otros) (%) (experiencia en proyectos de diversificación cañera)

Cuadro 3.24. Criterios para la evaluación de la capacidad de diversificación de estados y municipios productores de caña de azúcar (índice de diversificación)

Variables limitantes a la diversificación del campo cañero	4 (Potencial Alto)	3 (Potencial Medio)	2 (Potencial Bajo)	1 (Potencial Muy Bajo)	Referencias
RC	>75	74-65	64-50	<50	Tenerelli, (2008), Roebeling et al. (2007), Domac et al. (2005)
RS	<30	30-40	40-50	>50	Valverde, (2009), Moore (2009)
PL	<5	5-10	10-15	>15	Waclawovsky et al. (2010), Ashfaq et al. (2008), Moore (2009), Solomon (1996)
TM	>10	10-7	7-4	<4	Hague et al. (2010), Pope (1980)
TE	<30	30-50	50-75	>75	Pérez (2007), Nothard et al. (2004)
RG	>75	75-50	50-25	<25	Tienwong (2009), Naraine (2005)
CR	>50	50-30	30-15	<15	Kamruzzaman (2007), Jiménez, (2007)
DI	>50	50-40	40-30	<30	Grenzebach, (2009), Tienwong (2009).
AT	<10	10-20	20-30	>30	Piñeiro, (2009), Oddershede (2007)
MO	<30	30-50	50-70	>70	Chaplin (2004), Gallardo-López et al. (2002), Wynne (2004)
ID	> 0.80	0.80-0.75	0.70-0.75	<0.70	Windle (2005), Antony, (2005), Escobal (2004), Domac et al. (2005)
SP	<5	5-10	10-20	>20	Bandaranaike (2005), Godoy, (1999)
IC	>50	50-40	40-30	<30	Kingpaiboon S. (2006), Wynne (2004)
DE	>20	10-20	10-5	<5	Antony, (2005), Mishra (2002), Summer (2000), Cáceres, (1994)

Estos son los principales indicadores de la agroindustria azucarera y de otros sistemas producto de uso general. Escobal (2004) los clasifica como: a) variables de localización (variables regionales ficticias, productividad regional de la tierra y tamaño del mercado local); b) variables de capital humano (tamaño y composición de la familia, edad, género y años de escolaridad); c) bienes públicos (acceso a la electricidad y a los caminos, distancia al mercado); d) activos propios de la agricultura (tierra, cultivos y ganado); e) activos propios no agrícolas (experiencia en trabajo asalariado), y (f) activos financieros (acceso al crédito). Aunque existen muchos otros indicadores, en este trabajo se propone usar una combinación de ellos, porque muestran de manera más clara la importancia regional y sectorial de la actividad productiva (García C., 2008). Los indicadores mencionados fueron la base analítica para la construcción de hojas de cálculo con los factores, y la estructura jerárquica (Figura 3.30) en el módulo AHP del software ESRI ArcGis 9.2, así como los mapas temáticos, ponderación y peso de factores y la representación espacial final (Cuadros 3.25 al 3.28 y Figuras 3.30 al 3.32).

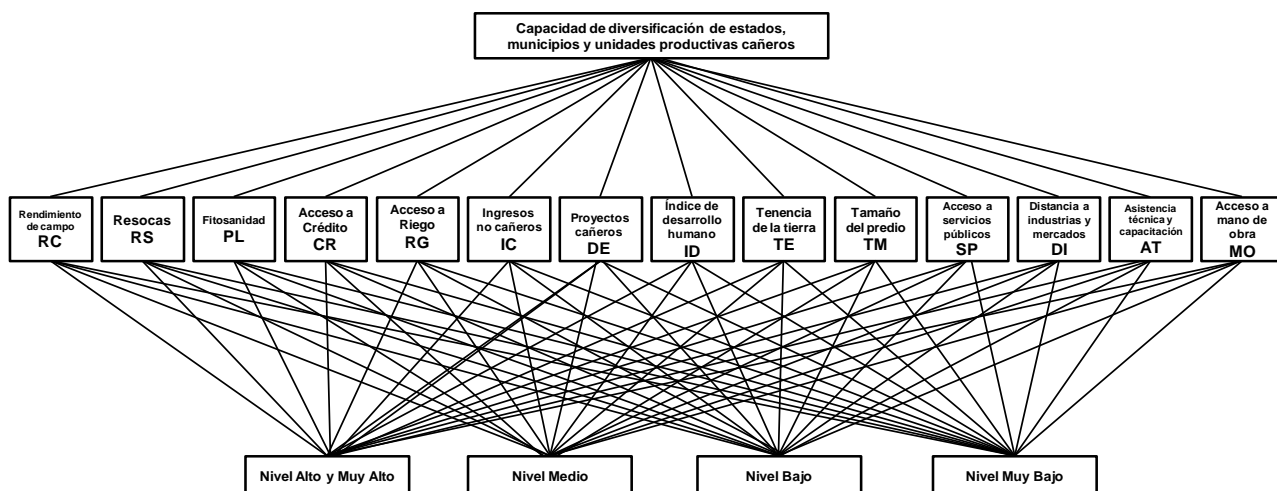


Figura 3.30. Estructura jerárquica para el análisis de la diversificación de estados y regiones productoras de caña de azúcar (índice de diversificación)

Cuadro 3.25. Pesos de las variables de diversificación de municipios cañeros (Nivel de inconsistencia 0.05)

Variables limitantes a la diversificación del campo cañero	Peso
Destino de la producción cañera diferente a ingenios (trapiche, panela, semilla, alimento de ganado y otros) (%), (Experiencia en proyectos de diversificación cañera) (DE)	0.155
Rendimiento de campo de la unidad productiva cañera (t/ha) (RC)	0.144
Superficie cañera con afectaciones al cultivo por plagas y enfermedades (%) (PL)	0.123
Unidades productivas con acceso a Crédito (%) (CR)	0.117
Superficie cañera con diversificación de ingresos diferentes a la caña de azúcar (%) (Forestal, acuícola, ganadería, turismo, remesas, pensión o jubilación, jornales etc) (Experiencia en proyectos de diversificación no cañera) (DI)	0.106
Superficie cañera con riego (%) (RG)	0.077
Índice de desarrollo humano (salud, educación e ingreso) (ID)	0.075
Superficie cañera con distancia al ingenio menor a 5 km (%) (DI)	0.049
Tamaño de la unidad productiva cañera (ha) (TM)	0.040
Unidades productivas sin asistencia técnica y capacitación (%) (AT)	0.034
Unidades productivas sin acceso a servicios públicos (Electricidad, agua, etc) (%) (SP)	0.031
Superficie cañera en ciclo resoca (%) (RS)	0.027
Tenencia de la tierra (% régimen ejidal) (TE)	0.019
Unidades productivas sin mano de obra contratada (%) (MO)	0.009

Cuadro 3.26. Índice de diversificación en estados productores

Estado	Índice de Diversificación (Capacidad para diversificar la producción cañera)
Morelos	0.850
Michoacan	0.838
Sinaloa	0.825
Jalisco	0.822
Colima	0.739
Chiapas	0.725
Tamaulipas	0.712
Nayarit	0.707
Puebla	0.706
Quintana Roo	0.558
Veracruz	0.542
Oaxaca	0.541
Tabasco	0.501
Campeche	0.385
San Luis Potosi	0.354

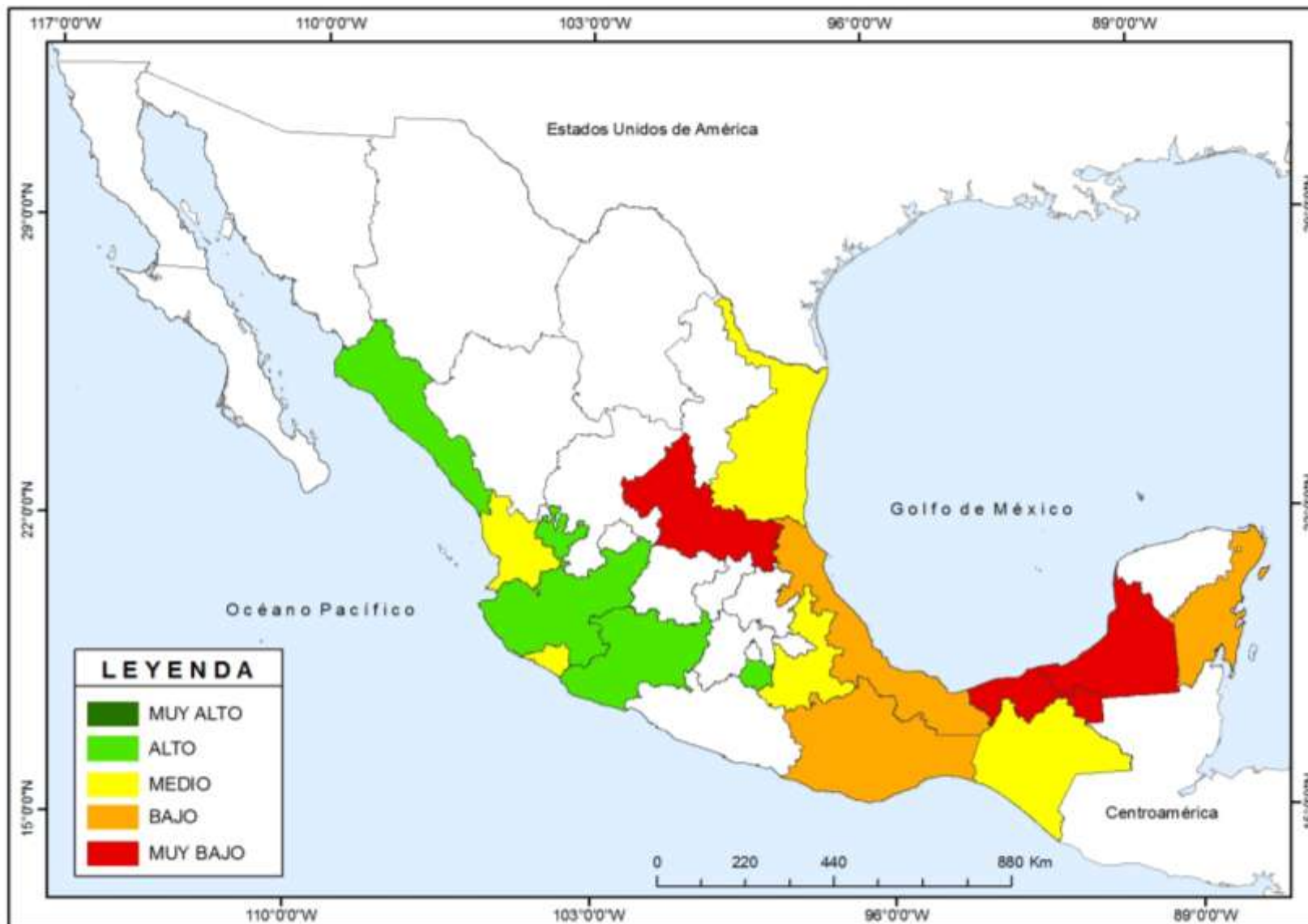


Figura 3.31. Capacidad para diversificar la producción cañera en estados productores (Índice de diversificación)

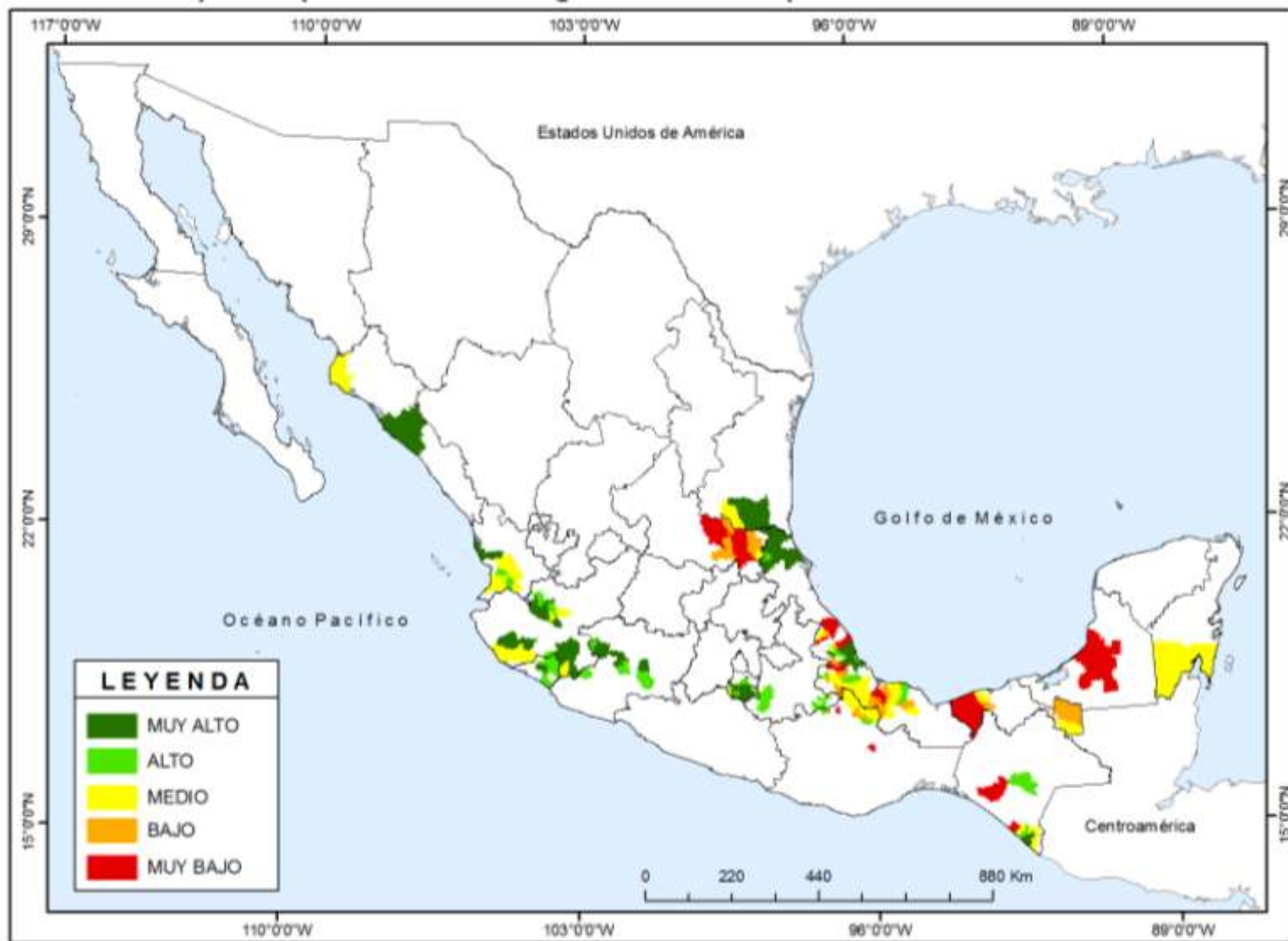


Figura 3.32. Ubicación espacial de municipios productores de caña de azúcar de México por nivel de capacidad para diversificar la producción base (caña de azúcar para ingenios azucareros)

Cuadro 3.27. Índice de diversificación de municipios ubicados en la principal zona de abasto de ingenios azucareros (capacidad para diversificar su producción) (1=alta capacidad, 0=nula)

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	El Molino, Puga	Hueyapan de Ocampo	0.500	Cuatotolapam
Xicoténcatl	0.858	A. Sáenz	Cuautla	0.742	Casasano	Tuxtepec	0.576	Adolfo López Mateos	Tezonapa	0.496	Motzorongo, Constanca
El Mante	0.858	El Mante	La Antigua	0.731	El Modelo	Casimiro Castillo	0.569	Jose María Morelos	Paso del Macho	0.483	C. Progreso
Autlán De Navarro	0.850	M. Ocampo	Acatlán de Juárez	0.716	Bellavista	Córdoba	0.561	San Miguelito	Tamasopo	0.479	Alianza Popular
Coatepec	0.837	Mahuixtlán	Chietla	0.706	Atencingo	Acatlán de Pérez	0.560	La Margarita	Ixtaczoquitlan	0.464	El Carmen
Zacatepec de Hidalgo	0.830	Emiliano Zapata	Taretán	0.706	Lazaro Cardenas	Othón P. Blanco	0.558	San Rafael de Pucté	Cosamaloapan	0.461	San Gabriel San Miguel Naranjo
Ursulo Galván	0.830	La Gloria	Cuauhtémoc	0.675	Queseria	Ahome	0.547	Los Mochis	El Naranjo	0.444	Plan de San Luis, Plan de Ayala
Tacámbaro	0.830	Pedernales	Huixtla	0.671	Huixtla	Atoyac	0.533	El Potrero	Ciudad Valles	0.381	
Ameca	0.830	Ameca	Cuichapa	0.635	La Providencia San Nicolás	Tres Valles	0.530	Tres Valles	Carlos A. Carrillo	0.381	San Cristobal
Tamazula de Gordiano	0.827	Tamazula	Cuiclahuac	0.619	San José de Abajo	Tenosique	0.530	Azsuremex	Champotón	0.367	La Joya
Pánuco	0.819	Zapoapita	Lerdo de Tejada	0.619	San Francisco, San Pedro	Cosolapa	0.505	El Refugio	Cárdenas	0.356	Benito Juárez, Santa Rosalia
Tocumbo	0.813	Santa Clara									
Navolato	0.806	Primavera									
V.Carranza	0.782	Pujilic									
El Higo	0.771	El Higo									
Tala	0.750	Tala									

Cuadro 3.28. Índice de diversificación de municipios productores de caña de azúcar y capacidad para diversificar su producción
(1=Alta capacidad, 0=nula)

Municipio	Valor	Municipio	Valor	Municipio	Valor	Municipio	Valor	Municipio	Valor
Gómez Farías	0.973	El Grullo	0.830	Acatlán de Juárez	0.716	Ahuacatlán	0.593	Tlapanalá	0.456
Santiago Ixcuintla	0.952	Tamazula	0.827	Chietla	0.706	Loma Bonita	0.591	El Naranjo	0.444
Culiacán	0.949	Puente de Ixtla	0.827	Taretán	0.706	Tuzantán	0.582	Balancán	0.431
Coquimatlán	0.942	Tingüindín	0.826	San Gabriel Chilac	0.699	Santa Maria del Oro	0.581	Tlacotalpan	0.427
Tlaquiltenango	0.934	El Limón	0.822	Emiliano Zapata	0.699	Pihuamo	0.579	Tlacojalpan	0.425
Tuxpan	0.905	Tonila	0.822	Atzacan	0.694	Tuxtepec	0.576	San José Chiltepec	0.423
Miacatlan	0.897	Tlayacapan	0.820	Ahualulco de Mercado	0.693	Yanga	0.573	Fortín	0.420
Tecalitlán	0.892	Panuco	0.819	Izúcar de Matamoros	0.687	Amatlan de los Reyes	0.573	Tamuín	0.414
González	0.878	Paso de Ovejas	0.818	Tepeojuma	0.687	Casimiro Castillo	0.569	San Lucas Ojitlan	0.408
Puente Nacional	0.877	Tocumbo	0.813	Chocaman	0.687	Ángel R. Cabada	0.568	Chacaltianguis	0.403
Veracruz	0.877	Navolato	0.806	San Jose Miahuatlan	0.685	Tapachula	0.568	José Azueta	0.401
Peribán	0.875	Huehuetan	0.806	Jojutla	0.678	Mazatepec	0.566	Ciudad del Maíz	0.388
El Arenal	0.874	Actopan	0.800	Ixhuatlancillo	0.676	Tlacotepec de Mejía	0.566	Petpetlán	0.383
Tepalcingo	0.874	Cotaxtla	0.799	Tecomán	0.675	Córdoba	0.561	Amatitlan	0.383
Tempoal	0.874	Gabriel Zamora	0.790	Cuahtémoc	0.675	Acatlán de Pérez	0.560	Ciudad Valles	0.381
Ziracuaretiro	0.874	Turicato	0.787	Huixtla	0.671	Othon P. Blanco	0.558	Carlos A. Carrillo	0.381
Etzatlán	0.872	Nuevo Urecho	0.786	Xalisco	0.669	Acayucan	0.558	Ixmattlahuacan	0.377
Cocula		Venustiano		Camarón de Tejada		Santiago Tuxtla		Martínez de la Torre	
	0.870	Carranza	0.782		0.669		0.553		0.376
Jantetelco	0.868	Tzimol	0.775	San Pedro Lagunillas	0.668	Ahome	0.547	Nautla	0.376
Uruapan		El Higo		Antonio		Amacuzac		Acula	
	0.867		0.771	Nanahuatipam	0.667		0.546		0.376
Zacoalco de Torres	0.862	Yautepec	0.763	San Juanito Escobedo	0.656	Isla	0.539	Escarcega	0.374
Xicoténcatl		Zapotitlán de		Mariano Escobedo		San Miguel Soyaltepec		Champotón	
	0.858	Vadillo	0.762		0.651		0.534		0.367
El Mante		Villa de Álvarez		Magdalena		Antiguo Morelos		Alto Lucero de	
	0.858		0.759		0.641		0.534	Gutiérrez	0.364
Zapotiltic	0.852	Las Rosas	0.757	Carrillo Puerto	0.638	Cuahtitlán	0.533	Zentla	0.361
Tlaltizapan	0.851	Jacatepec	0.752	Colima	0.638	Atoyac	0.533	Cárdenas	0.356
Teuchitlán	0.850	Xochiltepec	0.752	Tlalixcoyan	0.635	Tres Valles	0.530	Huimanguillo	0.337
San Martín Hidalgo	0.850	Tala	0.750	Cuichapa	0.635	Naolinco	0.530	Tuxtilla	0.334
Ayala	0.850	Coxcatlán	0.750	Otatitlán	0.635	Tenosique	0.530	Aquismon	0.328
Autlán de Navarro	0.850	Chiautla	0.750	Emiliano Zapata	0.634	Comalcalco	0.523	Altotonga	0.320
Pueblo Viejo	0.846	Cotija	0.745	Villa Corona	0.629	Saltabarranca	0.522	Villa Corzo	0.306
Manlio Fabio	0.845	San Andrés Tuxtla	0.744	Cuitlahuac	0.619	Nuevo Morelos	0.514	Sochiapa	0.305
Mazatan		Cuautila		Lerdo de Tejada		San Vicent		Huatusco	
	0.843		0.743		0.619	Tancuayalab	0.511		0.304
Coatepec	0.837	Socoltenango	0.738	Tomatlán	0.614	Atzalan	0.510	Acapetahua	0.290
Ozuluama	0.836	Tepalcatepec	0.738	Teotitlan 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 Toxpalan	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	Tepec	0.599	Ixtaczoquitlan	0.464	Huauteppec	0.245
Zacatepec Hidalgo	0.830	Teocelo	0.724	Compostela	0.598	Tlaltetela	0.464	Tlanajas	0.233
Ursulo Galván	0.830	Axochiapan	0.722	La Huerta	0.594	Cosamaloapan	0.461	Alaquines	0.233
Tacambaro	0.830	Jilotepec	0.719	Tlajomulco de Zúñiga	0.593	Rayón	0.457	Totontepec	0.224

Para los 15 estados 6 regiones y 215 municipios productores de caña de azúcar, las variables DE, RC, PL, CR, y DI (Cuadro 3.25) explican el 64.5 % en la decisión de los productores para diversificar la producción en los predios cañeros hacia una u otra actividad. La obtención de altos rendimientos de campo tan solo explica el 14.4 % del potencial a pesar de que esta fue propuesta originalmente como la variable de mayor peso por numerosos autores.

El conjunto de factores evaluados son los que se consideran más relevantes y al ponderarlos se obtuvo el instrumento de evaluación de municipios productores, lo que permitió determinar su capacidad (alta, media, baja y muy baja) para diversificar la monoproducción cañera para ingenios azucareros en los rubros reportados por el Padrón Cañero y obtener así una calificación por estado y por municipio productor de caña de azúcar, con y sin presencia de un ingenio azucarero. Con esta información se creó un mapa de salida de su ubicación espacial (Figuras 3.33 y 3.34)

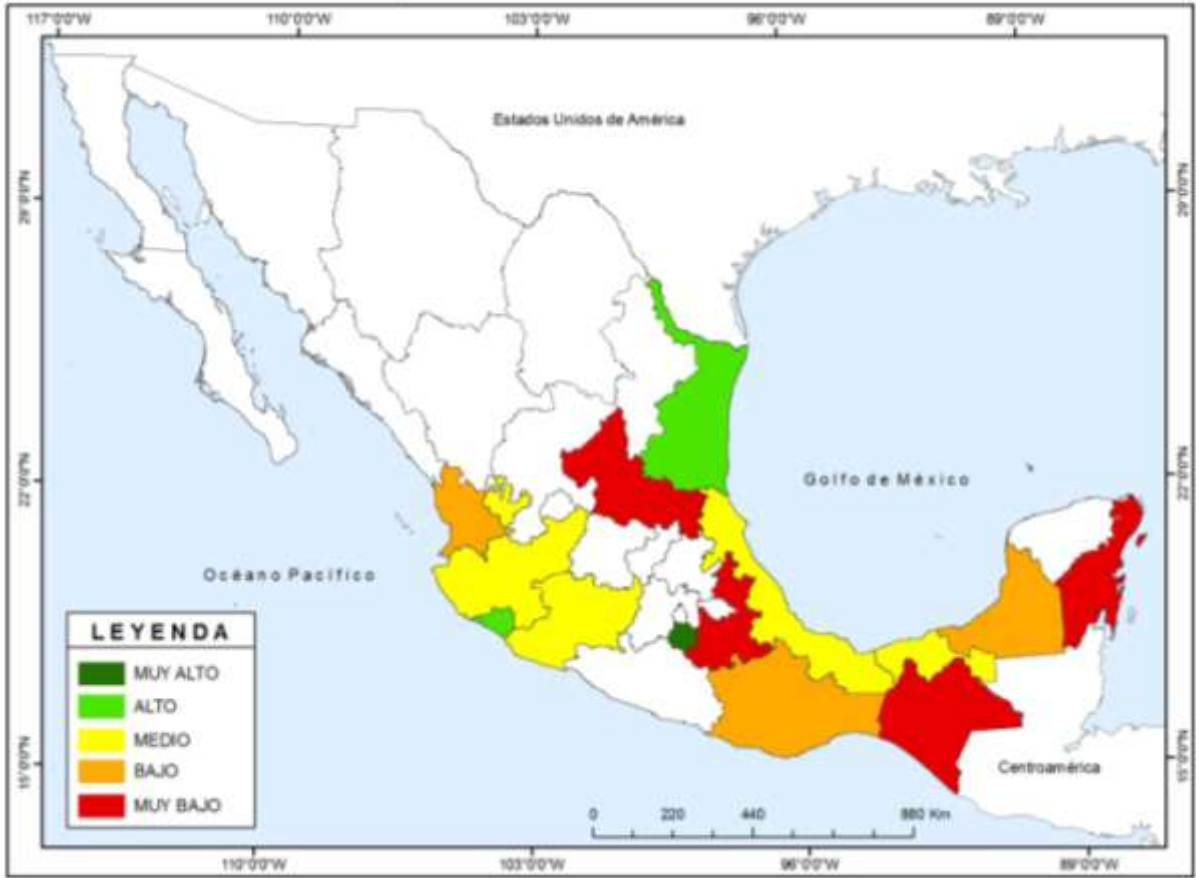


Figura 3.33. Estados con unidades productoras de caña de azúcar con proyectos de diversificación

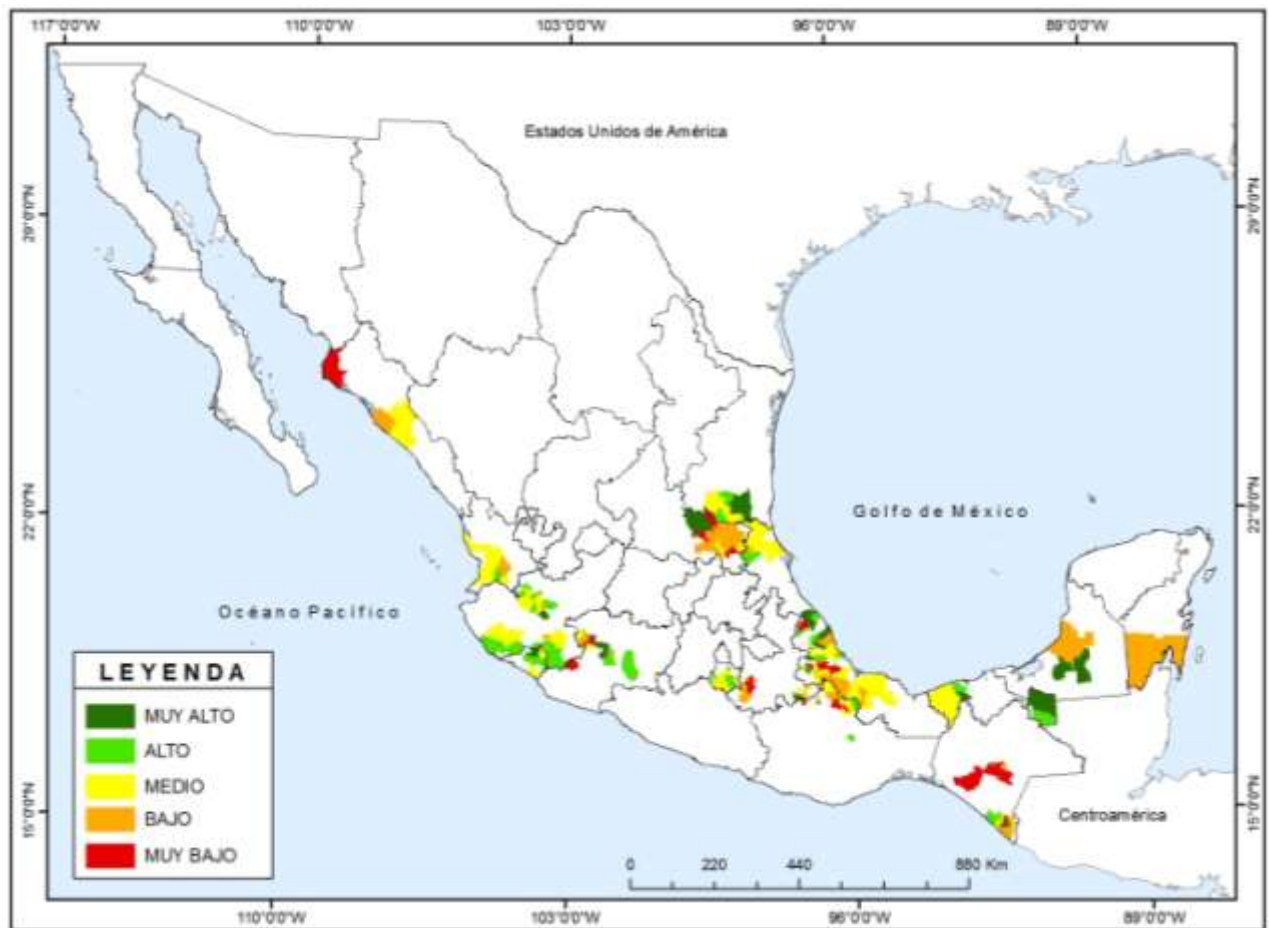


Figura 3.34. Municipios con unidades productoras de caña de azúcar con proyectos de diversificación

Para los municipios cañeros, 114 (52.3 %) presentan capacidad de media a alta para diversificar la monoproducción cañera y el resto 104 (47.7%) de media a baja y para los municipios donde se ubican los ingenios azucareros 27 (55 %); esto implica la necesidad de integrar el territorio como un distrito agroindustrial que resuelva los problemas logísticos y productivos de la industria y propicie innovaciones y nuevas producciones para incrementar el nivel de competitividad.

De acuerdo con Isaacs *et al.* (2009) y Buchholz *et al.* (2007), la estrategia para establecer biorefinerías de la caña de azúcar debe basarse en promover una cultura de desarrollo específico por sitio que contribuya a acercar la producción real de cada unidad productiva a su potencial.

En relación a los demás factores del Cuadro 3.25 que en su conjunto representan el 36.1 %, de la capacidad de diversificación, McNamara (2001) definió que el grado de diversificación en las explotaciones agrícolas, se relaciona de manera significativa con las características físicas de la unidad productiva (tamaño, productividad, tipo de explotaciones agrícolas, forestales, ganaderas, etc.), las características del productor (edad, escolaridad, tiempo dedicación al trabajo agrícola, número de miembros de la

familia) y las características económicas regionales. En este sentido, es fundamental la identificación de los factores o variables cualitativas y cuantitativas que determinan la diversificación, y no solo motivaciones financieras o económica frente a la disminución de los ingresos agrícolas.

Estos modelos pueden servir como una herramienta de planificación y evaluación para ayudar a decidir cuándo, dónde, y cómo estos sistemas pueden contribuir al desarrollo. Por ello, se hace necesaria la determinación de la importancia relativa (peso relativo) de cada uno de los factores y de los criterios, teniendo en cuenta que los mismos forman una jerarquía. El análisis multicriterio (MCA) es una herramienta eficaz que permite aplicar este enfoque.

3.9. Region Huasteca Potosina

El área de estudio se localiza hacia el este y sureste del estado de San Luis Potosí y abarca parte del sur de Tamaulipas; en específico, el área de estudio se refiere a los municipios de la zona cañera de la Huasteca que son proveedores de materia prima para los ingenios azucareros (Figura 3.35). Al ser la región una de las mayores productoras de sacarosa del país, tiene un amplio potencial de desarrollo, aunque también un cúmulo de problemas particulares, entre ellos el menor índice de diversificación del país (Cuadro 3.26). Durante la última década, los cuatro ingenios que operan (Alianza Popular, Plan de Ayala, Plan de San Luis y San Miguel del Naranjo), registraron una sensible desaceleración de la productividad en sus indicadores (Cuadros 3.29 y 3.30).

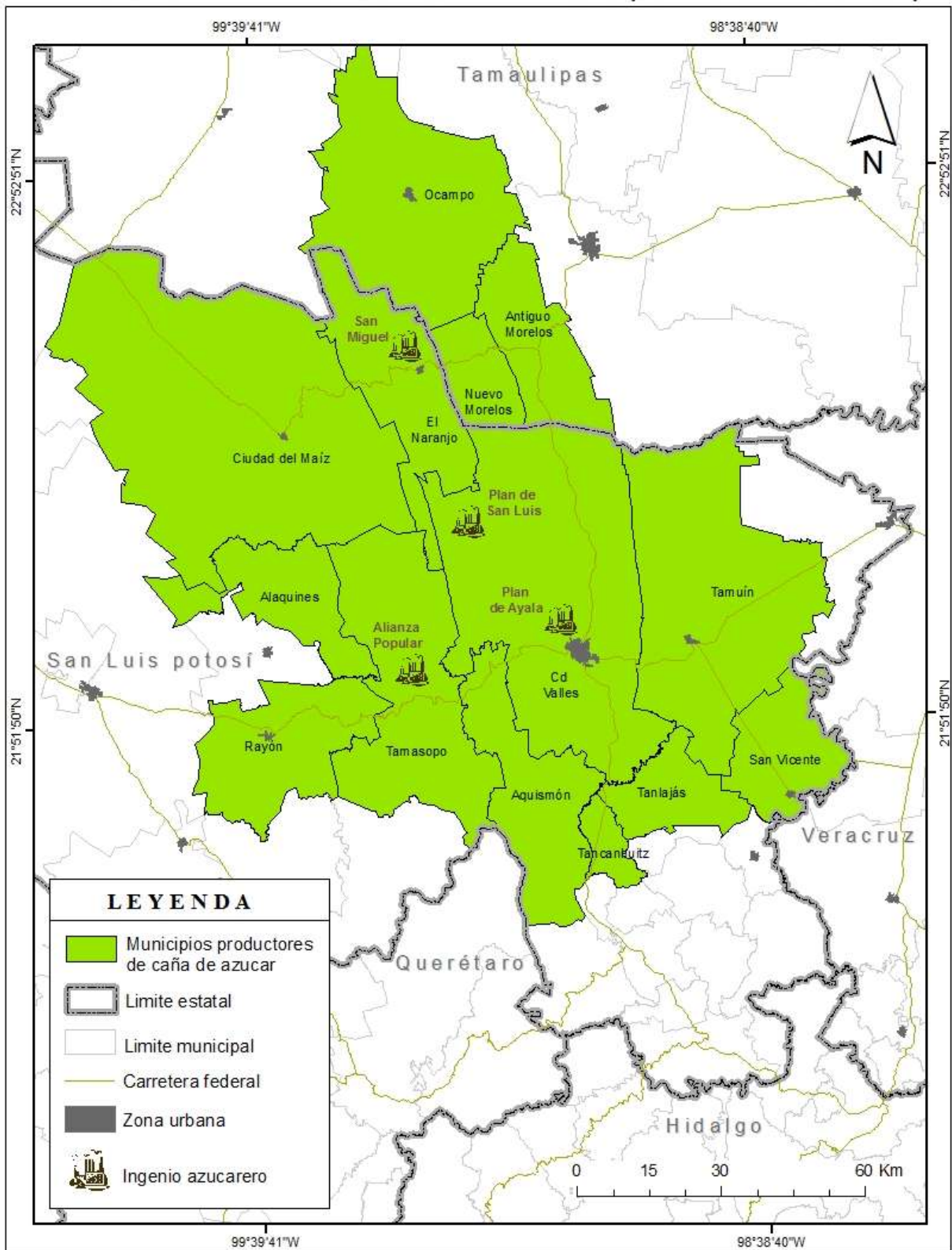


Figura 3.35. Zona cañera de la Huasteca San Luis Potosí y sur de Tamaulipas

Cuadro 3.29. Indicadores de producción de los municipios productores de caña de azúcar para ingenios azucareros (INEGI, 2007)

Municipio Productor	Unidades de producción	Superficie total (ha)	Producción total (t)	Destino para ingenios (t)	%
Ciudad Valles	3685	41536.14	1,090,202.45	1,082,651.77	99.31
Tamasopo	2323	15720.76	597,635.95	594,155.20	99.42
El Naranjo	1630	12936.06	570,872.20	568,300.02	99.55
Aquismón	666	4620.04	99,162.77	97,940.50	98.77
Ocampo	658	4,235.60	236,487.95	234,302.56	99.08
Tanlajás	1149	3615.15	42,823.82	35,127.04	82.03
Tamuín	307	2381.27	97,814.50	94,155.20	96.26
Nuevo Morelos	290	1,840.07	63,811.00	63,611.00	99.69
Antiguo Morelos	346	1,733.45	57,371.00	57,023.00	99.39
Tancanhuitz	824	1283.4	28,146.42	23,023.05	81.80
Ciudad del Maíz	102	585.4	7,014.75	5,207.00	74.23
Alaquines	183	256.25	2,534.25	1,618.25	63.86
San Vicente Tancuayalab	32	208.5	4,779.38	4,543.00	95.05
Rayón	38	133.8	6,631.25	6,525.75	98.41

Cuadro 3.30. Indicadores de productividad de la agroindustria azucarera de la Huasteca Potosina (con datos de CNPR, 2011)

Indicador	Zafra 2000/2001	Zafra 2009/2010	Diferencia
Rendimiento de campo t/ha	52.566	44.964	-14.5 %
Rendimiento agroindustrial t/ha	6.024	4.989	-17.5 %
Sacarosa en caña (%)	14.143	13.500	-4.5 %
Fibra en caña (%)	14.873	14.71	-1.1 %
Superficie cosechada (ha)	66,125	66,598	+0.7 %
Caña molida neta (t)	3,311,940	2,855,741	-13.8 %
Pérdidas de sacarosa (%)	2.71	2.43	-10.3 %
Eficiencia de fábrica (%)	80.837	81.975	+1.4 %
Rendimiento de fábrica	11.46	11.10	-3.1 %
Tiempos perdidos totales (%)	26.28	26.25	-0.11 %
Producción de derivados de la caña de azúcar (coproductos y subproductos)			
Sacarosa (t)	398,332	332,275	-16.6 %
Melazas A 85° Brix total (t)	121,433	105,982	-12.7 %
Cachaza (t)	154,210	163,185	+5.8 %
Bagazo (t)	1,165,513	965,548	-17.2 %
Energía eléctrica por quema de bagazo (kWh)	67,297,376	56,163,343	-16.5 %
Generación de vapor por quema de bagazo (t)	2,496,019	1,739,929	-30.3 %
Balance térmico y energético			
Consumo de energía eléctrica de CFE (kWh)	6,382,585	3,030,690	-52.5 %
Consumo de combustible de PEMEX (L)	29,939,527	10,589,181	-64.6 %
Consumo de energía eléctrica por t de caña	19.767	21.197	+7.2 %

El sector de la caña de azúcar ha perdido competitividad en las últimas décadas y se enfrenta a la baja rentabilidad; se han reportado en la prensa local (Figura 3.36) algunos intentos para fomentar la productividad y competitividad, pero estos han tenido pocos resultados.

Sequía y plagas atacan la caña



El granizo hammer afecta a varios cañaverales
Bajará la molienda entre 10 y 15% en los 4 Ingenios de la Huasteca



Por primera vez llega a 300.075 toneladas el peso de la caña...

Todo el apoyo al sector cañero

La industria debe ser más competitiva...
Reunión de alto nivel con el gobernador...



El gobernador... se reunió con el presidente de la industria...

Bloquean ingenio



Cañeros de la CNC cierran accesos de la azucarera de Tambaca, les deben 200 mdp

Los cañeros... bloquearon el acceso al ingenio...

Respiro económico al sector cañero

Entregó ayer el gobernador MSF cheque por \$70 mdp

El gobernador... entregó un cheque por 70 millones de pesos...

Cañeros deben invertir en tecnología de punta

Los cañeros deben invertir en tecnología de punta para mejorar su productividad...

Dejan los ingenios de vender bagazo

Los ingenios dejan de vender bagazo para utilizarlo en la fabricación de combustibles...

Figura 3.36. El sector cañero en la Huasteca Potosina

Evidentemente, la problemática mayor de la agroindustria azucarera estriba en la recuperación agrícola, donde el rendimiento actual (44 t/ha) ha descendido 8 t/ha, debido a causas multifactoriales como incremento de la superficie con resocas, incidencia de plagas y reducción del tamaño de la unidad productiva. Los efectos del estancamiento económico y de la insuficiencia de oferta generan una contradicción económica que exige “modernización” o aceleramiento en su grado de acumulación mediante la diversificación productiva; esto se menciona insistentemente en diversos foros y discursos relacionados con la agroindustria azucarera donde los académicos parecen compartir la preocupación por falta de la definición del rumbo de la agroindustria azucarera de esta región productora. Se ha sugerido una nueva agroindustria denominada “biorefinería”; sin embargo, los indicadores de los municipios productores de caña de azúcar e ingenios azucareros reportados por Aguilar (2010b) reflejan otra tendencia y una distribución espacial desigual, lo que impide hacer generalizaciones, para todos los municipios productores, con base en uno o dos indicadores productivos como el rendimiento de campo (Cuadro 3.31 y Figura 3.37).

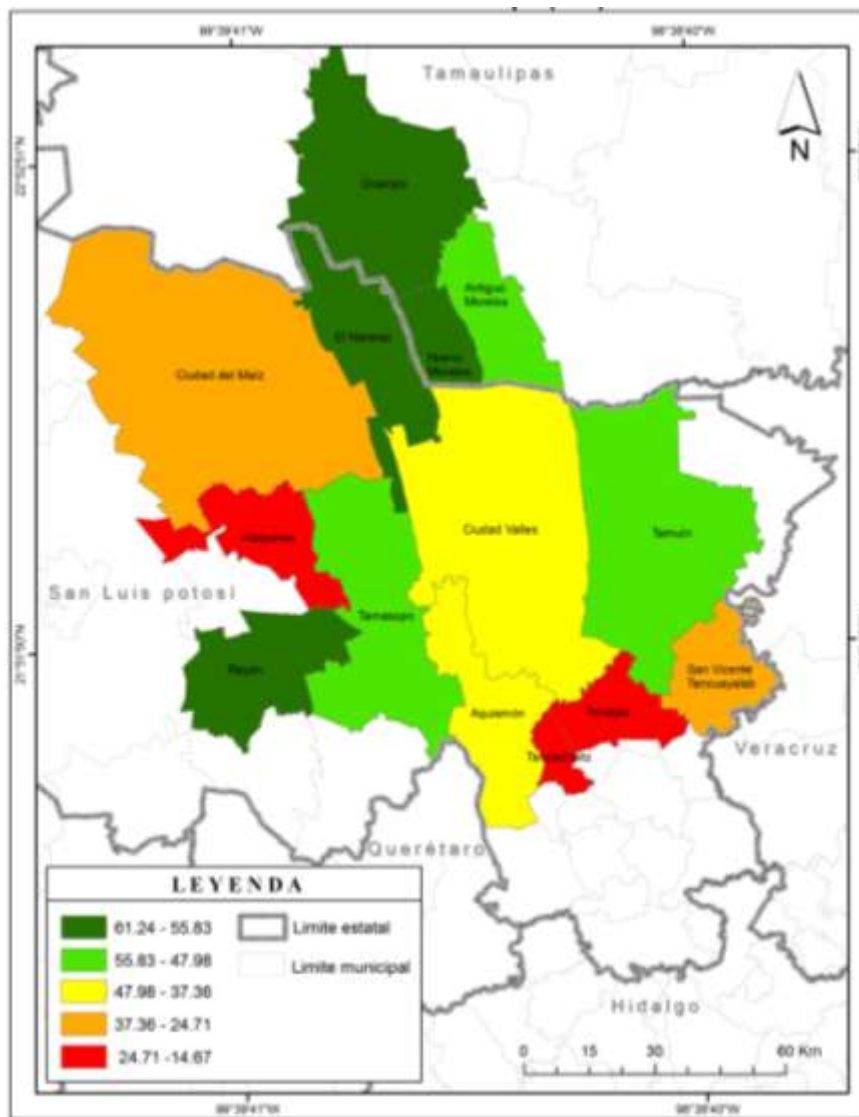


Figura 3.37. Rendimiento de campo (t/ha) de municipios productores de la Huasteca (SIAP, 2011)

Según Romero (2009) el rendimiento de campo y la rentabilidad de la caña de azúcar es consecuencia de la interacción de múltiples variables cuyo tipo, magnitud e intensidad, son función de las características del marco físico y socioeconómico de cada terreno o sitio de interés. Por su origen, es factible agrupar a estas variables en tres diferentes factores:

a) Factores humanos: son inherentes a la actividad de los grupos humanos e interfieren o condicionan la producción, ya sea de manera directa o indirecta; algunas variables son la disponibilidad de crédito (en tiempo y forma), mano de obra, costos y precio de venta de la cosecha, y tenencia de la tierra, entre otras.

b) Factores ambientales: condiciones de clima y suelo que predominan en el sitio de interés; algunas variables son la profundidad del suelo, textura, ambiente químico, frecuencia e intensidad de la lluvia, velocidad de infiltración, temperatura, y presión de vapor, entre otras.

c) Factores agronómicos: variables que se modifican o controlan a través de las acciones que se llevan a cabo mediante el manejo agronómico. Ejemplo de ellas son la humedad del suelo, presencia de plagas, arvenses nocivas y enfermedades, disponibilidad nutrimental, entre otros.

Dada la naturaleza compleja de los indicadores de campo, la aplicación de la estructura jerárquica de AHP para estados y municipios cañeros a nivel nacional permitió determinar los pesos de cada uno de los factores que componen el concepto de diversificación de municipios cañeros (Cuadro 3.25), para cada uno de los indicadores de la zona de estudio de la Huasteca (Cuadros 3.31 y 3.32) y se obtuvo un mapa resultante de la representación espacial (Figura 3.38).

Cuadro 3.31. Indicadores de los municipios productores de caña de azúcar (con referencia al Cuadro 3.24)

Municipio	RC	CR	RG	RS	IC	TM	TE	PL	DE	DI	ID	AT	SP	MO
Tamasopo	54.72	36.11	17.71	57.94	36.03	4.23	86.03	18.2	1.0	85.60	0.700	96.0	2.10	29.20
Ciudad Valles	44.29	23.11	22.84	38.72	38.62	6.72	48.36	12.6	1.0	90.30	0.780	94.0	2.80	33.50
Aquismon	47.98	27.94	0.61	41.76	49.52	5.54	83.67	18.4	1.2	74.20	0.601	97.1	6.20	54.00
San Vicente	37.37	34.38	57.31	31.06	40.63	6.52	71.22	13.5	4.9	72.00	0.708	53.3	0.00	53.00
Tamuín	51.51	9.21	41.10	57.15	32.86	3.78	81.10	20.1	0.1	97.00	0.751	95.0	0.00	35.50
Tanlajás	23.67	4.64	0.00	41.32	7.36	2.66	87.97	11.8	18.0	32.00	0.665	97.0	4.30	88.00
El Naranjo	61.24	25.67	11.48	47.24	29.86	4.72	55.55	5.9	0.5	93.50	0.752	80.0	2.40	26.00
Rayón	59.00	54.35	2.24	61.32	32.61	2.91	100.00	31.8	1.6	82.60	0.711	95.0	0.00	26.30
Tancanhuitz	24.72	3.83	11.30	74.77	26.60	1.37	63.09	16.7	18.2	21.20	0.672	99.0	7.00	74.00
Alaquines	14.67	0.21	0.98	44.51	18.94	0.27	99.71	13.7	36.1	6.00	0.672	100.0	7.10	78.70
Cd. del Maíz	29.11	7.89	10.89	26.73	77.19	5.14	51.53	32.9	25.8	10.50	0.719	87.2	1.00	76.50
Ocampo	65.79	52.92	0.26	45.18	54.29	7.47	79.69	39.65	0.0	20.63	0.825	64.1	1.86	21.19
Antiguo Morelos	51.10	70.62	20.13	21.94	71.30	8.10	60.12	32.81	0.4	15.83	0.825	74.0	0.91	15.83
Nuevo Morelos	61.18	53.65	14.36	31.11	54.29	9.23	54.70	38.17	0.0	17.29	0.825	79.5	1.97	52.40

Cuadro 3.32. Índice de diversificación (capacidad para diversificar la producción cañera en municipios productores de la Huasteca Potosina) (1=Alto, 0=Nula)

Estado	Municipio	Zona de Abasto	Ponderación
Tamaulipas	Antiguo Morelos	Ingenio San Miguel El Naranjo	0.604
	Ocampo		0.568
	Nuevo Morelos		0.549
San Luis Potosí	Ciudad del Maíz	Ingenio Alianza Popular	0.541
	Alaquines		0.455
	El Naranjo	Ingenio San Miguel El Naranjo	0.424
	San Vicente Tancuayalab	Ingenio El Higo	0.411
	Tancanhuitz	Ingenio Plan de Ayala	0.382
	Ciudad Valles	Ingenio Plan de Ayala Ingenio Plan de San Luis	0.377
	Tamuín	Ingenio Plan de Ayala	0.375
	Tamasopo	Ingenio Alianza Popular	0.345
	Tanlajás	Ingenio Plan de Ayala	0.340
	Rayón	Ingenio Alianza Popular	0.331
	Aquismón	Ingenio Alianza Popular	0.267

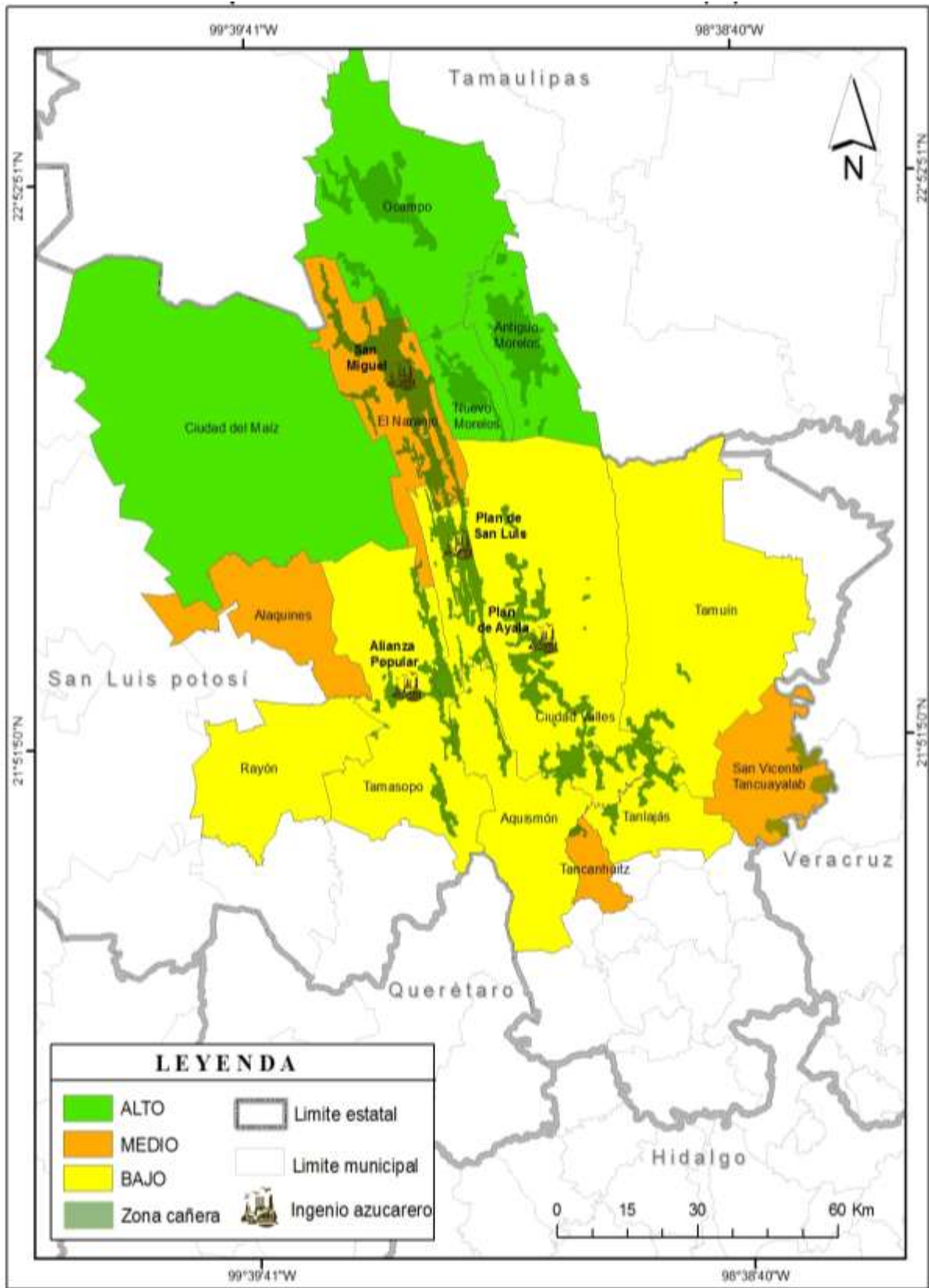


Figura 3.38. Índice de diversificación (capacidad para diversificar la producción cañera) y Distribución espacial de los municipios de la Huasteca

En este sentido, la metodología multicriterio (EMC) en un ambiente SIG (AHP) permitió desarrollar un modelo espacialmente explícito y proporcionar una dinámica representación espacial del área cañera bajo estudio, y definir *a posteriori*, de acuerdo con la ponderación resultante y con el índice de diversificación, que factores como la experiencia adquirida en proyectos de diversificación ya establecidos (trapiche, piloncillo, alimento de ganado, semilla de caña, turismo, entre otros), junto a la producción de materia prima en cantidad y calidad para ingenios, la obtención de altos rendimientos y la generación de subproductos agrícolas, explican el 30 % de la capacidad y decisión de los productores para diversificar la producción cañera y son factores clave para evitar la competencia con la producción de azúcar y la planeación de proyectos futuros basados en la unidad productiva cañera. Esto también lo mencionaron Waclawovsky *et al.* (2010) y Roebeling *et al.* (2006); quienes concluyeron que la diversificación agroindustrial en virtud de los actuales precios del azúcar, no debe dar lugar a una reducción de la oferta de caña de azúcar que ponga en riesgo la viabilidad de la fábrica, y que un suministro suficiente de caña de azúcar es un requisito previo para sostener el desarrollo de cualquier nueva industria (Vlosky *et al.*, 2005)

Este resultado es consistente con Eakin *et al.* (2011), Tienwong *et al.* (2009) y Bojórquez, (2009), quienes concluyeron que los factores biológicos de los cultivos (rendimientos, ciclo productivo, afectaciones por plagas, etc.) explican el 30 al 35 % y los socioeconómicos del 65 al 70 % de la productividad y capacidad para responder a proyectos de diversificación respectivamente.

Para la zona de estudio, una de las desventajas de la construcción de un sistema de etanol u otros derivados de la caña de azúcar directamente en los ingenios es que la infraestructura no existe como tal. El área ha tenido durante mucho tiempo los campos de caña de azúcar en monocultivo, dependiente de insumos materiales y soluciones tecnológicas y fábricas azucareras en comprometidas relaciones espaciales.

Además, la capacidad de transporte y la infraestructura vial es ya muy antigua (Aguilar, 2010). Desde el punto de vista logístico, la superposición de un sistema de etanol u otros derivados de caña de azúcar en la parte superior de la infraestructura existente del azúcar carece de sentido debido a que el aumento de los costos de producción y/o la disminución de los rendimientos, no son generalmente considerados en el cálculo de los beneficios del uso de subproductos. Esto se revertiría solo si los ingenios azucareros existentes pudieran procesar la caña más eficientemente para obtener mayor cantidad de subproductos para fines energéticos como el bagazo, y para fermentación en el caso de las melazas, en igual o aun mayor nivel de producción de azúcar, y si los agricultores de caña de azúcar pudieran incrementar la productividad para abastecer de suficiente materia prima en cantidad y calidad para estos propósitos.

Para la zona de abasto de los ingenios azucareros, el estudio estableció que el 29 % de los municipios cañeros de la Huasteca (Ocampo, Nuevo y Antiguo Morelos y Ciudad del Maíz) tiene alta capacidad para incrementar la productividad y diversificar sus predios hacia otros derivados de la caña; el restante 61 % (Alaquines, El Naranjo, San Vicente Tancuayalab, Tancanhuitz, Ciudad Valles, Tamuín, Tamasopo, Tanlajás, Rayón y Aquismón) tienen de media a baja capacidad, bien sea por bajos rendimientos, afectaciones al cultivo, resocas, baja experiencia en proyectos de diversificación o

fuerte dependencia del ingreso cañero (Figuras 3.39 a 3.42) y se caracterizan por tener una estructura monoprodutiva.

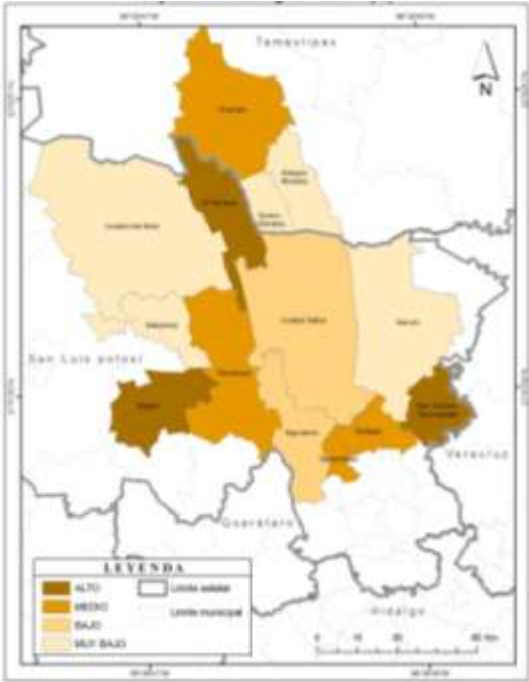


Figura 3.39. Dependencia del ingreso cañero en municipios de la Huasteca (con datos de SIAP, 2008)

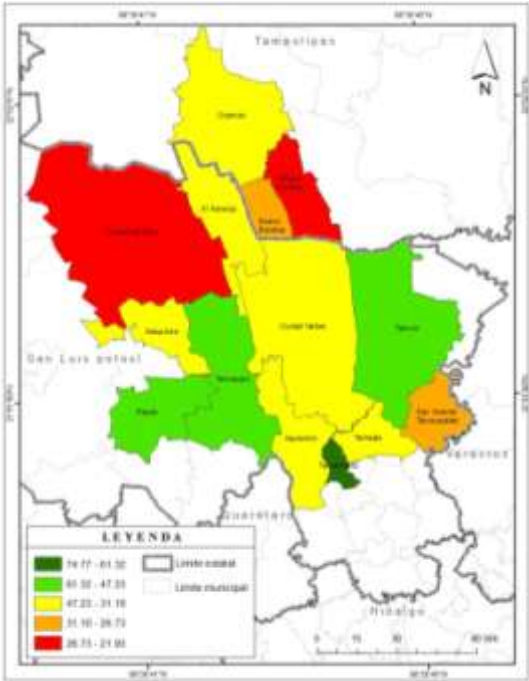


Figura 3.40. Proporción de resocas en municipios de la Huasteca (con datos de SIAP, 2008)

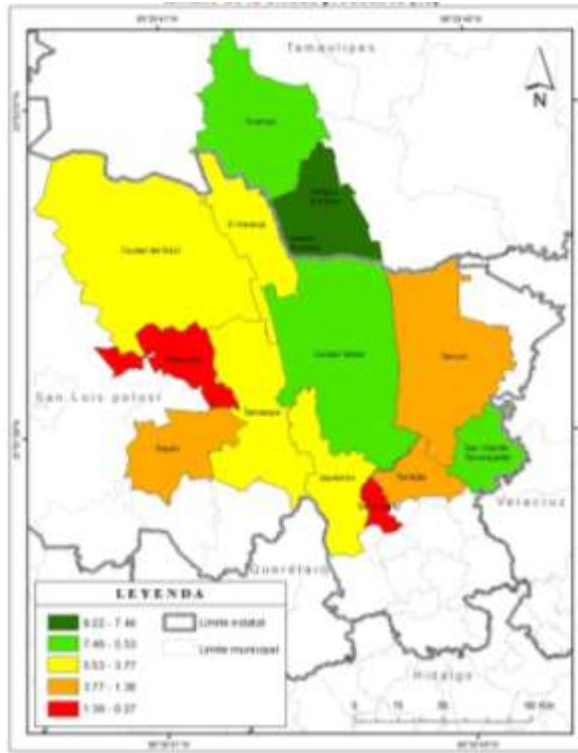


Figura 3.41. Tamaño de la unidad productiva en municipios de la Huasteca (con datos de SIAP, 2008)



Figura 3.42. Unidades productivas con diversificación de ingresos no cañeros en municipios de la Huasteca (con datos de SIAP, 2008)

Para estos últimos municipios, Rodgers, (1957) definió a la diversidad (concepto contrario a una estructura monoprodutiva) como "la presencia en una zona de un gran número de diferentes tipos de industrias", o "la medida de la actividad económica de una región"; sin embargo, la diversidad económica regional se refiere al tamaño de la economía regional y, más importante aún, a los vínculos interindustriales (es decir, las interacciones directas e indirectas entre las industrias). Wagner (1993) definió la diversidad en términos de industrias que directa e indirectamente influyen en la economía regional, y cuanto mayor sea la concentración de la actividad en unas pocas industrias, habrá menor diversificación y ningún tipo de vínculos interindustriales. En el caso particular de la industria azucarera de la Huasteca, los ingenios azucareros no tienen niveles de actividad entre las industrias y/o redes de cooperación.

En relación con lo anterior, Eakin *et al.* (2011) plantearon que además de los factores biológicos del cultivo (rendimientos, calidad agroindustrial, afectaciones por plagas, etc.), numerosas variables condicionan al productor a establecer diversas estrategias de competitividad (incremento de productividad, rentabilidad y diversificación), o supervivencia ante la disminución de la rentabilidad de un monocultivo. Todo ello derivado de la interacción de numerosos factores como apoyos gubernamentales, asistencia técnica, acceso a crédito, diversificación del ingreso agrícola, participación en organizaciones de productores, acceso a capacitación, educación, acceso a energía y servicios públicos, disponibilidad de mano de obra familiar, diversificación de cultivos, infraestructura rural, proximidad a mercados, redes sociales, disponibilidad de riego y tamaño de la unidad productiva (Figura 3.43).

Factores Limitantes		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Financieros o de capital	Acceso a Crédito	●	●	●	●		●	●	●	●	
	Diversificación del Ingreso Agrícola	●	●	●		●	●	●	●	●	
	Apoyos Gubernamentales	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Humanos	Educación	●		●	●					●	●
	Disponibilidad de Mano de Obra Familiar					●	●	●	●	●	
	Acceso a Capacitación	●	●	●	●			●	●	●	●
Productivas	Asistencia Técnica	●	●	●	●		●	●		●	●
	Diversificación de Cultivos	●		●		●					
	Disponibilidad de Riego					●		●			
	Tamaño de la Unidad productiva						●				
Sociales	Infraestructura Rural	●		●	●			●		●	
	Proximidad a Mercados				●			●		●	
	Acceso a Energía y Servicios Públicos	●	●	●	●		●			●	
	Participación en Organizaciones de Productores	●		●	●		●			●	●
	Redes Sociales		●						●	●	●

A Cambio en las prácticas agrícolas, B Cambio de variedades comerciales establecidas, C Cambio de cultivos, D Cambio de estrategias de mercados, E Reducción de la superficie sembrada y cosechada, F Incremento del área sembrada y cosechada, G Incremento de labores productivas, H Migración, I Nuevas actividades económicas, J Organización de productores

Figura 3.43. Efecto de los Factores condicionantes de la competitividad de agroindustrias (Eakin *et al.*, 2011)

Por lo tanto, para la zona de estudio, los municipios Ocampo, Nuevo y Antiguo Morelos y Ciudad del Maíz (municipios de la zona de abasto del ingenio San Miguel del Naranjo), de acuerdo con los trabajos de Zein Kallas (2010); Grenzebach (2009);

Ashfaq *et al.* (2008); Kamruzzaman (2007); Mishra (2002) y Summer (2000), presentan factores como afectaciones al cultivo por plagas y enfermedades, acceso a crédito y riego, distancia de las unidades productivas a las carreteras principales y mercados y factores sociales como el tamaño de la unidad productiva, nivel de educación, acceso a servicios públicos, relaciones sociales en el campo, asistencia técnica y capacitación entre otros, que se relacionan positivamente con su capacidad para adoptar en proyectos de diversificación basados en la caña misma o en otros proyectos productivos. Eso significa que si estas variables aumentaran, en los demás municipios (Alaquines, El Naranjo, San Vicente Tancuayalab, Tancanhuitz, Ciudad Valles, Tamuín, Tamasopo, Tanlajás, Rayón y Aquismón) el nivel potencial de diversificación también se incrementaría.

Sin embargo, independientemente de que los indicadores de una región cañera presentan un nivel de aptitud o potencialidad alto, Papademetriou (2001) concluyó que el que las alternativas de diversificación propuestas sean aceptadas o no es una cuestión de incentivos, mismos que Möllers (2006) definió como factores de empuje. En términos económicos, los agricultores van a examinar si los ingresos generados por las alternativas son mayores que la producción convencional. En cuanto a los aspectos sociales, un plan alternativo puede o no ser adecuado para los recursos y capacidades de su explotación base en términos de tierra, mano de obra y la disponibilidad de capital. Eso significa que para los productores cañeros de la Huasteca los recursos derivados del mercado y de la unidad productiva son los principales factores que influyen en la toma de decisiones (y la asunción de riesgos) para diversificarse. Los agricultores no aceptarán las alternativas si no pueden ver una oportunidad de mercado para la caña de azúcar aparte de los ingenios azucareros (trapiches, etanoleras, etc.). Los agricultores también considerarán si la tierra, el trabajo y el capital que tienen son adecuados para un programa de diversificación hacia otros cultivos, ganadería o turismo.

Con respecto a la agricultura cañera, Haque (1995) afirmó que la diversificación en un territorio como la Huasteca es una opción para la gestión del riesgo en el mediano plazo con la participación de múltiples herramientas empresariales que, por su diseño, pueden desempeñar un papel en la reducción de la dependencia de una región productora en relación con determinado producto o mercancía (caña de azúcar para ingenios azucareros) y generar nuevos ingresos.

Mubarik Ali (2004) y Singh (2002) mencionaron que en la agricultura, la diversificación permite a los productores un cambio en tres tipos de diversificación en un gradiente de menor a mayor rentabilidad que puede aplicarse a la Huasteca: a) en relación con cultivos (diversificación horizontal); b) con la inclusión de actividades no agrícolas (diversificación vertical); y c) con la división en el uso de los recursos entre las diversas actividades (diversificación horizontal y vertical). Para cada uno, una condición fundamental para el éxito es que los mercados destinatarios sean crecientes y dinámicos.

La diversificación vertical se refiere a ascender en la cadena de valor tradicional de productos básicos como resultado de un valor añadido en la producción cañera convencional. Esto puede implicar la diferenciación a través de la calidad o del origen, además de la transformación (Chaplin, 2000).

La diversificación horizontal permitiría a los productores de la Huasteca la inclusión de nuevos productos junto a la tradicional producción cañera con destino a ingenios azucareros, como cultivos exóticos o cultivos orgánicos para la exportación. La diversificación en productos básicos no tradicionales se ha considerado una estrategia excelente, porque se trata de recursos semejantes a los utilizados para los productos básicos tradicionales. Desafortunadamente, la mayoría de los productores cañeros presentan limitaciones a la diversificación horizontal debido a la falta de experiencia en la comercialización de productos básicos y no tradicionales, la dificultad de acceso a los servicios financieros, y la infraestructura deficiente (Pérez, 2007 y Sánchez, 2002).

Pope (1980) mencionó que los agricultores más experimentados pueden diversificarse en comparación con los menos experimentados. Asimismo, un aumento del tamaño de la unidad productiva incrementa la diversificación, porque los grandes agricultores tienen más recursos para dividir la unidad productiva entre los diversos cultivos y prestar más atención a la agricultura que a cualquier otra empresa fuera de la unidad productiva.

Para Ashfaq *et al.* (2008) la edad no es significativa, pero la educación está positivamente relacionada con la diversificación. También, las unidades productivas cerca de las carreteras y mercados están más diversificadas en comparación con las lejanas. Los agricultores que tienen maquinaria agrícola es más probable que puedan diversificarse, porque pueden realizar diferentes operaciones agrícolas a tiempo y comercializar sus productos con facilidad; por lo tanto son más propensos a la diversificación.

En función de estas interpretaciones, puede realizarse, en el mediano plazo, la planificación integral de una zona de interés mediante la determinación y diferenciación de ambientes productivos. Si se tienen en cuenta la variabilidad de los factores productivos, tales como el ambiente donde se encuentra el cultivo, variedades, tipo de suelo, fertilidad, rendimientos históricos, etc., se puede hacer un manejo más eficiente del cultivo, permitiendo la aplicación de insumos de acuerdo con las necesidades y el potencial de los predios cañeros para diversificarse.

El establecimiento de otros cultivos en asociación, intercalación o en rotación con la caña de azúcar se puede adoptar para maximizar la rentabilidad de la producción cañera. Sin embargo, una serie de factores que influyen en la elección de determinados cultivos, por ejemplo, duración del ciclo de maduración, adaptación climática, competencia por agua y nutrientes, deben ser considerados por los productores. En ningún caso se debe entender que la diversificación significa la sustitución de la caña de azúcar por otros cultivos o la disminución de la producción de azúcar.

Los resultados sugieren que las decisiones de alcance tecnológico para la diversificación en una región productora como la Huasteca Potosina no dependen de un solo factor y que las habilidades, educación y motivación podrían ser vistas como el motor esencial de la diversificación.

3.10. Analisis de la capacidad para diversificar unidades productivas de la zona de abasto cañero del ingenio San Miguel del Naranjo

3.10.1. Diversificación en unidades productivas cañeras

Quirk *et al.* (2007); Windle (2005, 2003) y Hildebrand (2002) concluyeron que la viabilidad de la industria azucarera ha sido cuestionada en varios informes a nivel internacional. En general se reconoce que las industrias azucareras locales tendrán que someterse a numerosos cambios. Uno de los temas clave es la necesidad de mejorar la eficiencia económica en la industria. A nivel de productores, se considera que muchas unidades de producción son económicamente inviables por la necesidad de incrementar el tamaño de explotación para lograr economías de escala y alcance. Algunos productores no serán capaces de ampliar la unidad de producción y una opción económica más viable es la diversificación de los ingresos derivados del cultivo de caña de azúcar. Sin embargo, a nivel mundial existe poca información a nivel de unidades de producción de caña de azúcar que permita identificar los factores limitantes para explorar oportunidades de diversificación, y cómo esos factores pueden estar relacionados con determinadas características socio-económicas (como rentabilidad de la caña de azúcar, edad, educación, ingresos no agrícolas, fuerza de trabajo, riesgo, crédito y endeudamiento, experiencia actual o anterior de manejo de otros cultivos o empresas, tamaño de la unidad productiva, rentabilidad y sistemas alternativos de producción de cultivos o empresas ya instalados en la unidad productiva)

Möllers (2006) definió factores como habilidades, recursos, educación y motivación que podrían ser vistos como el motor esencial de la diversificación a nivel unidad productiva (Cuadro 3.33).

Cuadro 3.33. Factores de la diversificación en unidades de producción agrícola

Tipos de factores	Factores asociados con el sector agrícola tradicional y las características de la unidad productiva	Factores asociados con el sector rural no agrícola
Factores de atracción (Recursos y capacidades)	Nivel de educación, habilidades, conocimientos, capacitación, asistencia técnica. Actitud hacia el trabajo agrícola Existencia de redes sociales que facilitan la diversificación mediante la reducción de costos	Índice de salarios más alto en el sector no agrícola La demanda de mano de obra en el sector no agrícola Ambiente optimista de negocios rurales Infraestructura, carreteras, educación y redes de formación profesional Disponibilidad de información tecnológica y científica Acceso a tierra y mercado de crédito Existencia de planes de desarrollo rural, Proyectos y programas regionales y locales
Factores de empuje (Limitantes)	Insuficiente acceso a la tierra, baja productividad y fertilidad de suelos, minifundio Baja productividad del trabajo agrícola Falta de capacidad de auto-financiamiento para inversiones en explotaciones agrícolas Explotación familiar Actitud negativa hacia los medios de vida agrícolas y rurales Generación de conflictos sociales desastres naturales (sequia, plagas etc)	Estructuras de mercado altas tasas de desempleo Falta de infraestructura Ineficientes Instituciones Ineficientes Barreras legales y culturales, Normativa Falta de bienes de capital de los medios de subsistencia

Para Ashfaq *et al.* (2008) los factores que afectan a la diversificación de la unidad de producción son: tenencia de la tierra y tamaño de la unidad, edad del productor, nivel de educación, experiencia en proyectos de diversificación, otros ingresos diferentes al ingreso agrícola, plagas y enfermedades, duración del ciclo de producción agrícola, distancia de la unidad productiva a las carreteras principales y mercados, y maquinaria agrícola incluido el riego (infraestructura).

Anosike y Coughnour (1990) mencionaron que los factores clave que influyen en los agricultores para diversificar son: tamaño de la unidad productiva, edad de los agricultores o etapa del ciclo de vida, nivel de la educación, nivel de dependencia de ingresos externos, organización de la unidad de producción (propietario único, sociedad, empresa familiar etc.), tenencia de la tierra, región agroecológica, etc.

Damianos y Skuras (1996) encontraron que las unidades de producción que poseen un mayor acceso y menor distancia a los mercados tienen más probabilidades de estar lo suficientemente diversificadas que las que se localizan en desventaja por la distancia a los mercados o por una infraestructura vial inadecuada. Es decir, la oportunidad y la capacidad son dos factores clave para el éxito en la aplicación de empresas alternativas agrícolas o diversificadas.

La oportunidad se refiere a los factores asociados con tamaño de la unidad de producción, características adecuadas de la región agroecológica, y la proximidad a los mercados. La capacidad se refiere a la gestión del productor en la evaluación de las oportunidades, objetivos y habilidades para la realización de nuevas empresas.

De acuerdo con los trabajos de Mishra (2002) y Summer (2000), el tamaño de la unidad de producción, el nivel de educación, la experiencia agrícola y el acceso a maquinaria agrícola se relacionaron positivamente con la diversificación; eso significa que si estas variables aumentan, el nivel de diversificación también se incrementa. Mientras que factores como edad del productor, acceso a ingresos fuera de la unidad de producción, y la distancia de las unidades de producción a las carreteras principales y mercados, son inversamente proporcionales a la diversificación.

Silva (2009) propone analizar los factores derivados de la productividad en la agroindustria cañera como análisis histórico de la producción en la región; suelo y condiciones climáticas; infraestructura logística (insumos de la industria, transporte, almacenamiento y tratamientos); materia prima y subproductos por hectárea.

Para Culas (2006) hay un número de variables a nivel micro, potencialmente interesantes, que pueden afectar las opciones de diversificación. Estas variables pueden ser el tipo de propiedad agrícola (tenencia de la tierra) y la estructura organizativa y tecnológica, cambios de política pública, ubicación geográfica, mano de obra, experiencia del agricultor, rentabilidad, seguro agrícola, etc.; sin embargo, para el autor, las variables tamaño de la unidad productiva, mano de obra y ubicación geográfica son las más significativas para cultivos tipo plantación o agroindustriales

Naraine (2005) concluyó que los factores que determinan la capacidad de los productores para diversificarse son: características demográficas (edad, nivel educativo,

experiencias en otros proyectos) de los agricultores, actitudes hacia la diversificación agrícola, características físicas y económicas de la unidad de producción

Roebeling *et al.* (2006) recomendaron que para el análisis de la diversificación se requiere una aproximación espacial de los factores económicos y ambientales de la agroindustria y de las opciones de procesamiento agro-industrial en combinación con modelos de gestión.

Es decir, la literatura presenta numerosos factores que inciden en la decisión de los agricultores de diversificarse con distinta intensidad y cobertura espacial; para su abordaje en una región cañera Just y Pope (1999, 2003) subrayaron la necesidad de acceder a bases de datos a nivel regional y local que mejor representen la heterogeneidad agrícola y de los agricultores, las variables de productividad y los factores económicos y sociales, para evitar errores derivados de la omisión de importantes variables como el capital humano. Sin esta consideración, la resultante ha sido la divergencia de resultados y la carencia de una representación válida de los sistemas productivos; en contraparte, el enfoque holístico proporciona información comprensible y útil a los agricultores para la toma de decisiones.

Tenerelli (2008) propuso abordar la complejidad de las áreas cañeras mediante una metodología multicriterio integrada en tres fases de evaluación. La primera (Fase I) se basa en un modelo espacial de asignación de uso del suelo de forma general; la segunda (Fase II) se basa en un modelo de evaluación de un cultivo en particular con fines energéticos o de diversificación productiva. La agregación de las dos fases en una matriz multicriterio ofrece un escenario final para evaluar la aptitud de tierras (zonificación) o potencial para bioenergía y otros usos (Fase III). Es decir, mediante esta metodología se logra: a) la identificación de alternativas factibles o posibles; b) la construcción de criterios a tener en cuenta; c) la evaluación del desempeño de cada alternativa con respecto a cada criterio; y d) la agregación de los resultados para obtener la solución que ofrece las mejores evaluaciones. El modelo clasifica las tierras de diferente aptitud en una tipología (zonificación) para la producción en una biorefinería. Estas limitaciones están relacionadas con las características morfológicas de la tierra, el uso del suelo, las restricciones ambientales y los criterios de gestión.

Según Sahoo *et al.* (2000), MCE en un SIG se refiere principalmente a la forma de combinar la información de varios criterios para formar un solo índice de evaluación. Como los criterios se miden en diferentes escalas, se estandarizan y se transforman en mapas de factores que correlacionan positivamente; esto, de acuerdo con el objetivo de establecer relaciones espaciales entre las opciones con el fin de desarrollar estrategias regionales de uso del suelo. Los resultados muestran que, además de un considerable ahorro de tiempo y mejora en la calidad de los datos, la información integrada puede usarse para ubicar espacialmente sitios para nuevos cultivos o sistemas de producción.

El análisis geoestadístico en nivel regional y local ha sido desarrollado como una herramienta para la toma de decisiones en programas de diversificación de cultivos. Kumar *et al.* (2010) establecieron que la metodología adoptada debe combinar o sinergizar en un SIG tanto técnicas estadísticas y datos espaciales en mapas base con los aspectos más relevantes del clima, y los atributos del suelo. Es importante

considerar que, aunque los factores climáticos, y algunas de las propiedades químicas del suelo (conductividad eléctrica, pH, capacidad de intercambio catiónico, calcio fertilidad y saturación de bases) no muestran una variación para afectar la productividad de los cultivos sí influyen en la idoneidad de cultivos en el área de estudio a diversificar. Es decir, una primera cuestión a abordar se relaciona con las características de una visión espacial del proceso de producción y distribución a partir de un enfoque regional

Dadas estas características, para la determinación de la importancia relativa de los factores y criterios, se empleó el Método de las Jerarquías Analíticas (AHP) , útil por su capacidad para medir el grado de consistencia en juicios subjetivos. Así, con base en este método se evaluó la capacidad de los productores de caña de azúcar del Ingenio San Miguel El Naranjo para diversificarse, de acuerdo con la metodología de Tienwong (2009), Lamparelli *et al.* (2009) y Oddershede (2007).

El AHP es una herramienta de apoyo en problemas de toma de decisión, para establecer prioridades y para modelar problemas no estructurados en los ámbitos económico, social y de gestión (Nagesha, 2006, Zahedi, 1987)

3.10.2. Ingenio San Miguel El Naranjo

El Ingenio San Miguel El Naranjo (antes Ponciano Arriaga), fue fundado en 1974 por el Gobierno Federal a través del Fondo de Planeación de la Industria Azucarera y fue administrado a través del la Operadora Nacional de Ingenios, S.A. (ONISA) en el valle del poblado del Naranjo, municipio de Ciudad del Maíz sobre la carretera San Luis-Antiguo Morelos (Figuras 3.44 y 3.45). Originalmente se cultivaban alrededor de 2,000 ha de caña de azúcar de un total de 30,000 ha (el resto se destinaba a maíz o ganadería). La caña cosechada se transportaba hasta el Ingenio El Mante en el vecino estado de Tamaulipas. Con base en el potencial agrícola de la zona se determinó que era factible construir un ingenio azucarero para la molienda de 1,000 a 1,500 toneladas diarias. Las operaciones de molienda iniciaron el 16 de diciembre de 1974 (Cuadro 3.34). Posteriormente el ingenio fue vendido al grupo Beta San Miguel en el proceso de privatización de ingenios iniciado en 1987.

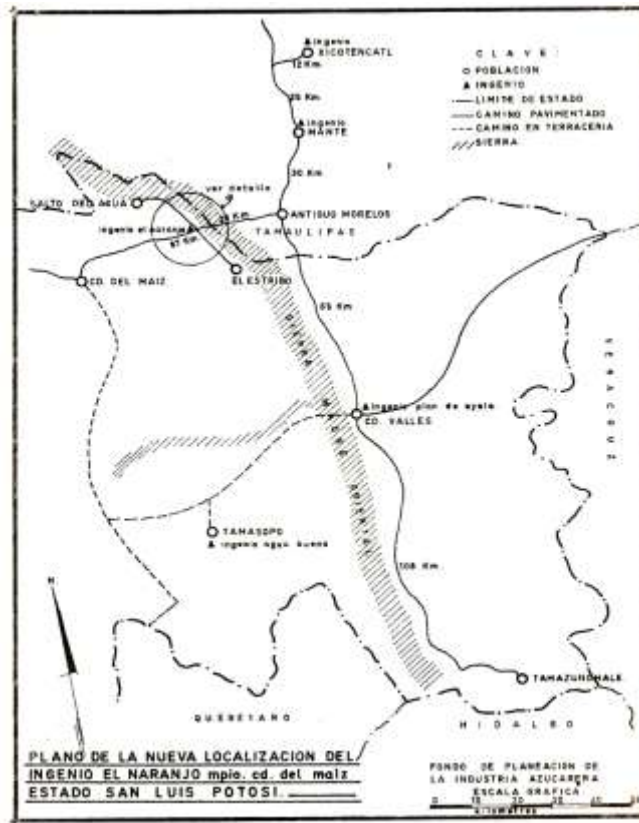


Figura 3.44. Ubicación del ingenio azucarero en el Naranjo S.L.P. (Fondo de Planeación de la industria azucarera)

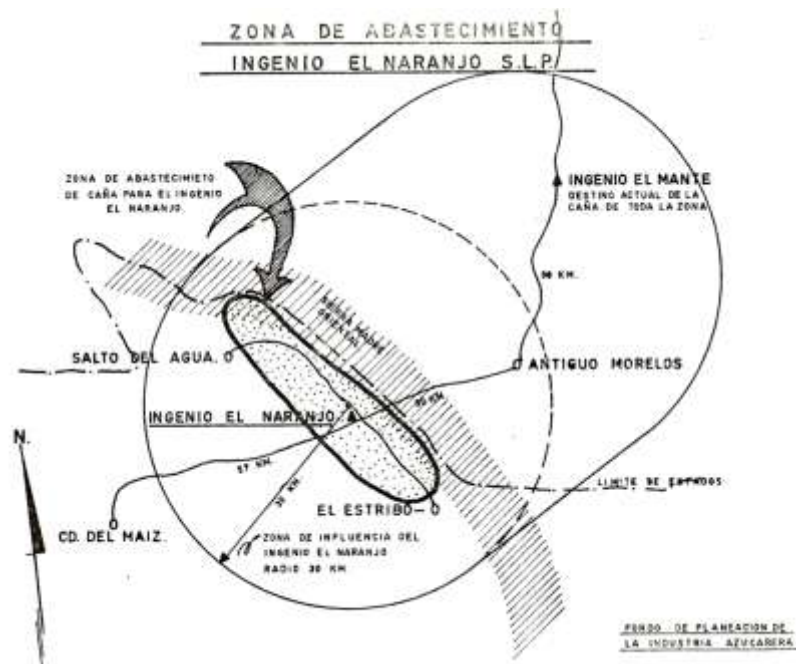


Figura 3.45. Zona de abastecimiento planeada para el ingenio en el Naranjo S.L.P. (Fondo de Planeación de la industria azucarera)

Cuadro 3.34. Indicadores de la zafra 1974/1975 del Ingenio Ponciano Arriaga

Indicador	Valor
Rendimiento de campo t/ha	65
Rendimiento agroindustrial t/ha	8.71
Sacarosa en caña (%)	11.619
Fibra en caña (%)	15.90
Superficie cosechada (ha)	3,988
Caña molida neta (t)	253,249
Pérdidas de sacarosa (%)	2.909
Eficiencia de fábrica (%)	75
Rendimiento de fábrica	8.08
Tiempos perdidos totales (%)	51.62
Sacarosa producida (t)	22,734
Consumo de combustóleo de PEMEX (L/t caña)	15.26

A partir de la zafra 2003/2004 el ingenio inició un proceso de diversificación con la producción de composta de cachaza, bagacillo y las cenizas de combustión residuales, quema de bagazo para sustituir en su totalidad el petróleo en calderas, la cogeneración eléctrica y la producción de azúcar estándar y refinado. Actualmente, el ingenio (certificado en ISO 9001:2008 e ISO 22000:2005) recibe su materia prima de 3,479 cañeros, los cuales son ejidatarios o pequeños propietarios que cultivan 23,700 hectáreas. El ingenio emplea a 423 personas de la región de forma permanente en la época de zafra y a 301 en la época de reparación. El ingenio procesó durante la zafra 2007/2008 un total de 1,328,289 toneladas de caña entre los meses de noviembre y junio. Se reciben diariamente 406 camiones de caña, y su capacidad de molienda es de 8,000 toneladas por día. En las zafras de la última década (Cuadro 3.35) el ingenio produjo en promedio:

1.795 toneladas de azúcar por día.

170,890 toneladas de azúcar por zafra. Venta se realiza en Supersacos de 1500 kg., Sacos de 50, 40 y 25 kg., y Azúcar a granel.

El 93.8% de ésta es azúcar estándar.

54,777 toneladas de mieles incristalizables.

6,617 toneladas de composta.

Cero emisiones por quema de combustóleo

Cuadro 3.35. Indicadores de productividad del Ingenio San Miguel del Naranjo (con datos de CNPR, 2011)

Indicador	Zafra 2000/2001	Zafra 2009/2010	Diferencia (%)
Rendimiento de campo t/ha	46.095	49.900	+8.25
Rendimiento agroindustrial t/ha	5,124	5,475	+6.85
Sacarosa en caña (%)	14.052	13.532	-3.70
Fibra en caña (%)	14.648	14.234	-2.83
Superficie cosechada (ha)	17,108	18,763	+9.67
Caña molida neta (t)	744,198	895,847	+20.38
Pérdidas de sacarosa (%)	2.98	2.60	-12.75
Eficiencia de fábrica (%)	78.823	80.756	+2.45
Rendimiento de fábrica	11.12	10.97	-1.35
Tiempos perdidos totales (%)	38.39	23.77	-38.08
Producción de derivados de la caña de azúcar (coproductos y subproductos)			
Sacarosa (t)	87,657	102,722	+17.19
Melazas A 85° Brix total (t)	30,260	41,271	+36.39
Cachaza (t)	32,245	46,860	+45.32
Bagazo (t)	260,868	295,743	+13.37
Energía eléctrica por quema de bagazo (kWh)	12,805,235	15,566,900	+21.57
Generación de vapor por quema de bagazo (t)	512,978	392,033	-23.58
Balance térmico y energético			
Consumo de energía eléctrica de CFE (kWh)	129,086	28,699	-77.77
Consumo de combustóleo de PEMEX (L)	5,210,215	0	-100.00
Consumo de e. eléctrica por t de caña	16.402	16.657	+1.55

El ingenio presenta indicadores de fábrica que lo califican de media a alta productividad (Aguilar *et al.*, 2010), y sus indicadores de campo lo ubican entre media y baja productividad (vulnerable a cambios en las condiciones climáticas). Lo anterior, derivado de que el cultivo de caña de azúcar para el ingenio constituye un monocultivo extensivo y altamente impactante, cuya expansión provocó la exclusión y/o la sustitución de otros cultivos.

Para el análisis de la capacidad de diversificación en un territorio, Ray (2005) concluyó que las nuevas actividades (agrícolas, ganaderas, forestales, acuícolas, etc.) tienen que ser asignadas a diferentes zonas en función de sus requisitos agroecológicos. Así, los requerimientos de suelo y clima de diversas alternativas deben utilizarse como el principio rector para identificar áreas aptas para la diversificación en un esquema de planificación.

La zona cañera del Ingenio San Miguel del Naranjo comprende la parte norte de la región Huasteca Potosina (municipios de Ciudad del Maiz y El Naranjo) y sur de la Huasteca Tamaulipeca (Municipios de Ocampo, Nuevo Morelos y Antiguo Morelos). El campo o zona de abasto cañero está conformado por unidades de producción o frentes de corte: Ej. (ejido) Col. Agrícola Meco, Ej. Maguey de Oriente, Ej. Paso Real de More, Ej. Praxedis Guerrero, Ej. Protacio F. Guerra, Ej. Antiguo Morelos, Part. (particular, propiedad privada) Sta. Cruz Del Toro, Part. Antiguo Morelos, Part. La Piedra, Part. Ricardo Flores Magon, Part. El Meco, Ej. 20 De Noviembre, Ej. El Limonal, Part. El Naranjo, Ej. Pueblo Viejo, Ej. Los Alamos, Ej. Km. 42, Particular La Mutua, Ej. El Sabinito, Ej. El Pencil, Particular Ocampo, Ej. San Isidro del Poniente., Part. Nuevo Morelos, Ej. Las Huertas, Ej. Nuevo Morelos, Ej. Emiliano Zapata, Ej. Emiliano Zapata 1, Ej. Minas Viejas, Part. Ojo De Agua, Part. Los Alamos, Ej. El Naranjo, Ej. Col.Agric. Salto, Ej. Francisco Villa, Ej. La Flores, Ej. Mexico Libre, Ej. Nicolas Bravo, Ej. La Concepcion, Part. Mante, Ej. Ocampo, Ej. Las Flores, Ej. El Tigre, Ej. La Mutua, Part. El

Estribo, Ej. Ojo De Agua, Ej. La Reforma, Ej. Venustiano Carranza, Ej. El Porvenir, Ej. El Sauz, Part. El Estribo 2, Part. El Salto, Part. La Concepcion, Ej. Fco. Medrano, Col. Sta. Ma. de Gpe., Ej. Librado Rivera, Part. Maitines, Ej. Col Ignacio Zaragoza, Ej. Las Abritas, Ej. El Platanito, Part. Minas Viejas, Part. Xicotencatl, Ej. Laguna Del Mante, Ej. Charcos de Oriente., Ej. Praxedis Gro. 2, Part. Adolfo Lopez Mateos, Ej. La Muralla, Ej. Lidio Guerra Leal, Ej. Canoas, Ej. Benito Juarez, y Ej. Plan de San Luis, los cuales presentan productividad diversa (Figura 3.46).

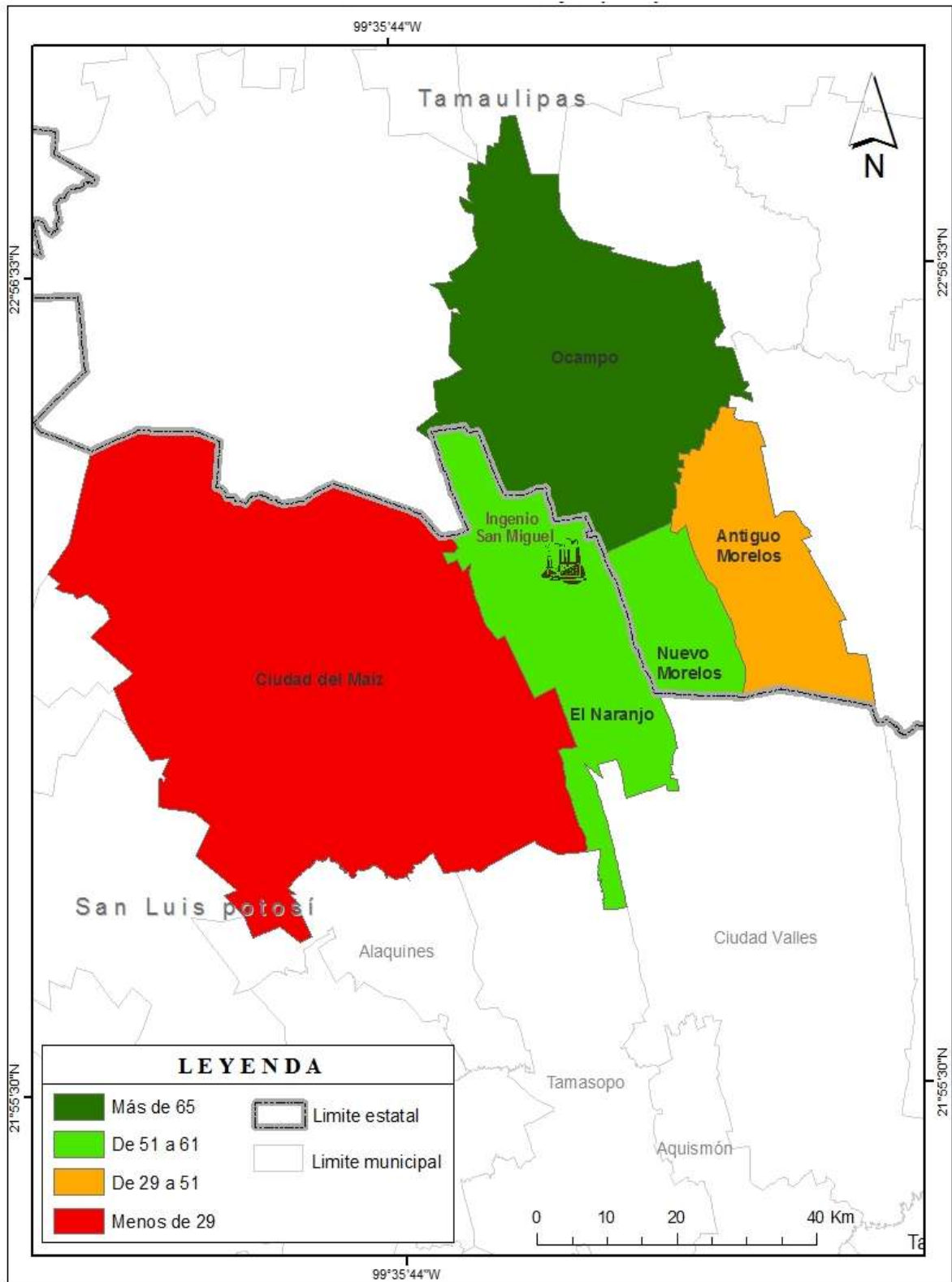


Figura 3.46. Rendimiento de campo (t/ha) de los municipios de la zona de abasto del Ingenio San Miguel del Naranjo

3.10.3. Análisis de la capacidad de diversificación

La zona cañera se fotointerpretó con imágenes del satélite SPOT 5 HRV (10m) y el uso de límites de los polígonos cañeros previamente identificados en imágenes Landsat 7 ETM+ de acuerdo con Aguilar *et al.* (2010). En el software ILWIS 3.3 se generó un mosaico de seis imágenes (587-306, 585-305, 586-305, 585-304, 587-304, 588-305); éstas fueron proporcionadas por el Laboratorio Nacional de Geoprocresamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF), presentan resolución espacial de 10 y 20 m, tamaño 60x60 Km (3,600 Km²), y resolución radiométrica 256 ND, corresponden a junio de 2008 y cubren el 100 % del área cañera del Ingenio San Miguel del Naranjo. El ingenio fue georeferenciado empleando un equipo GPS Garmin modelo GPSmap 60CSx, con error de posicionamiento de 5 metros, para obtener el polígono cañero de la zona de estudio (Figura 3.47).

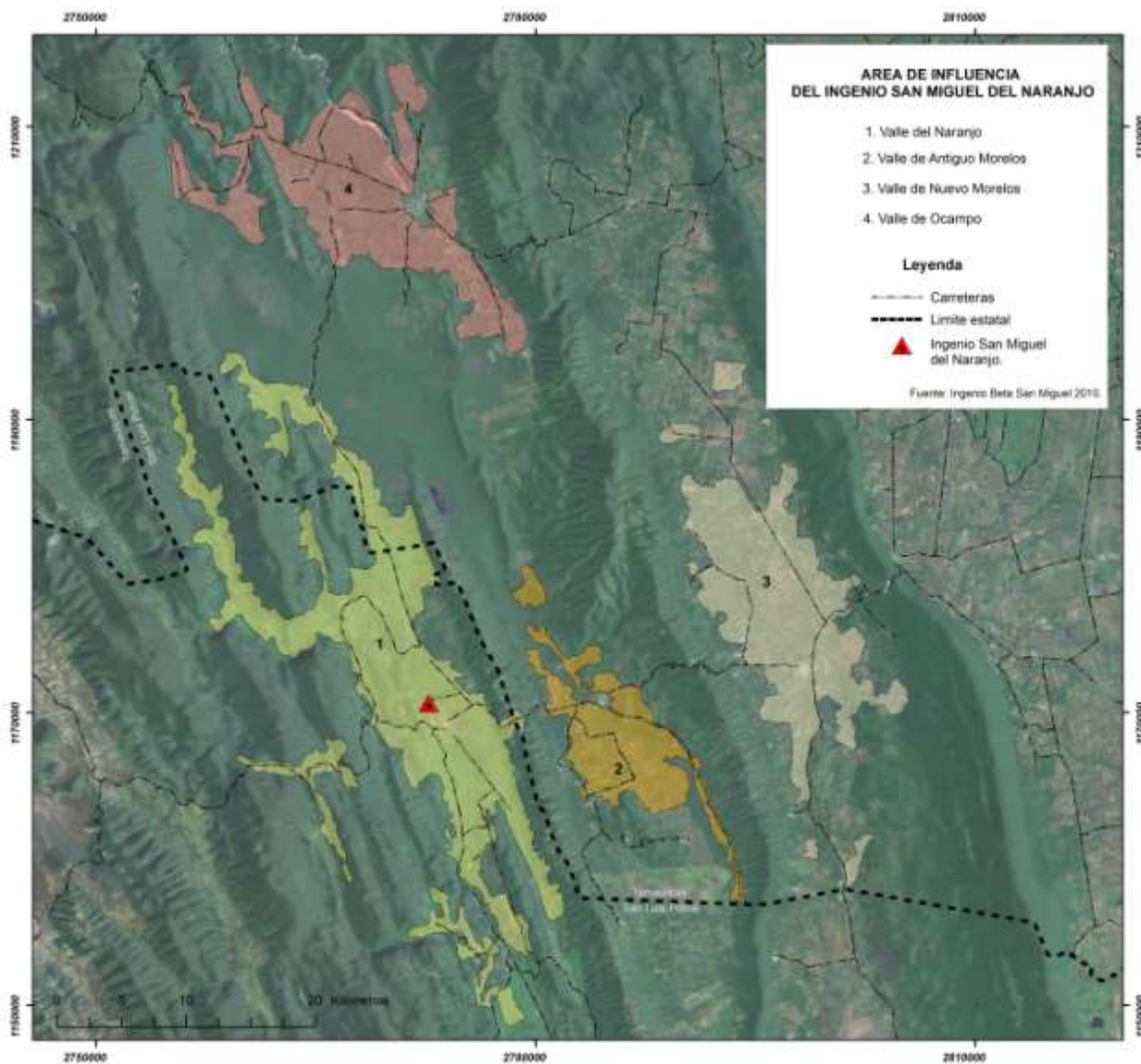


Figura 3.47. Zona de abasto cañero del Ingenio San Miguel El Naranjo

Se empleó la metodología propuesta para el estudio de estados y municipios cañeros de la sección anterior. Esta incluyó el análisis de los predios cañeros, la construcción de la estructura jerárquica (Figura 3.48), la normalización de los factores, la ponderación y combinación con sus pesos, el diseño de la matriz de Saaty (matriz de comparación por pares) , la determinación del índice de diversificación y por último la generación de mapas de caracterización de la zona de abasto y de aptitud o índice de diversificación. Inicialmente, los factores fueron seleccionados con base en su relevancia para la adecuación de tierras de cultivo y en la disponibilidad de bases de datos.

Para la identificación de los rangos adecuados de los factores, y para la evaluación de los pesos, se construyó una hoja de cálculo y mapas temáticos con la información de campo georeferenciada por predio cañero correspondiente a la zafra 2008/2009, obtenida de la gerencia de campo del Ingenio San Miguel El Naranjo. Las variables fueron de tipo ambiental, económico y social: superficie por productor (ha), rendimiento de campo (ha), ciclo productivo (planta, soca, resoca y resoca N), tenencia de la tierra (ejidal o particular), número de plagas y enfermedades (mosca pinta, gusano barrenador, rata de campo, escaldadura, carbón, roya, etc.), tipo de cosecha (verde o quemada); igualmente fueron considerados los resultados de análisis de suelos por productor y la aptitud productiva (clima, temperatura, suelo, índice de sequía, altitud, pendiente y régimen de lluvias).

Con esta información se realizó la caracterización espacial del cultivo de caña de azúcar en la zona de estudio, basada en la fotointerpretación previa del mosaico de imágenes SPOT HRV; y, en segundo lugar, la capacidad de expansión de la productividad y diversificación, de acuerdo con los trabajos de Eakin *et al.* (2011); Dang Khoi *et al.* (2010); Rojas López *et al.* (2010); Haque *et al.*, (2010); Galindo *et al.* (2009); Gerritsen (2008); Tenerelli (2008); Tienwong (2008); Belka (2005); Naraine (2005); Escobal (2004) y Domínguez *et al.* (2004). El modelo considera como factores base para el cálculo del índice de diversificación a la superficie total (sembrada, cosechada, quedada y en resiembras), el patrón espacial del cultivo de caña de azúcar, la aptitud edafológica y a la aptitud agroproductiva de la zona de estudio (Figuras 3.49 y 3.50) propuestos por Kumar *et al.* (2010); Paneque *et al.* (2009); Valencia, (2006, 2009); Mishra *et al.* (2004); Minot, (2003); Zhu *et al.* (2001) y Haque (1985).

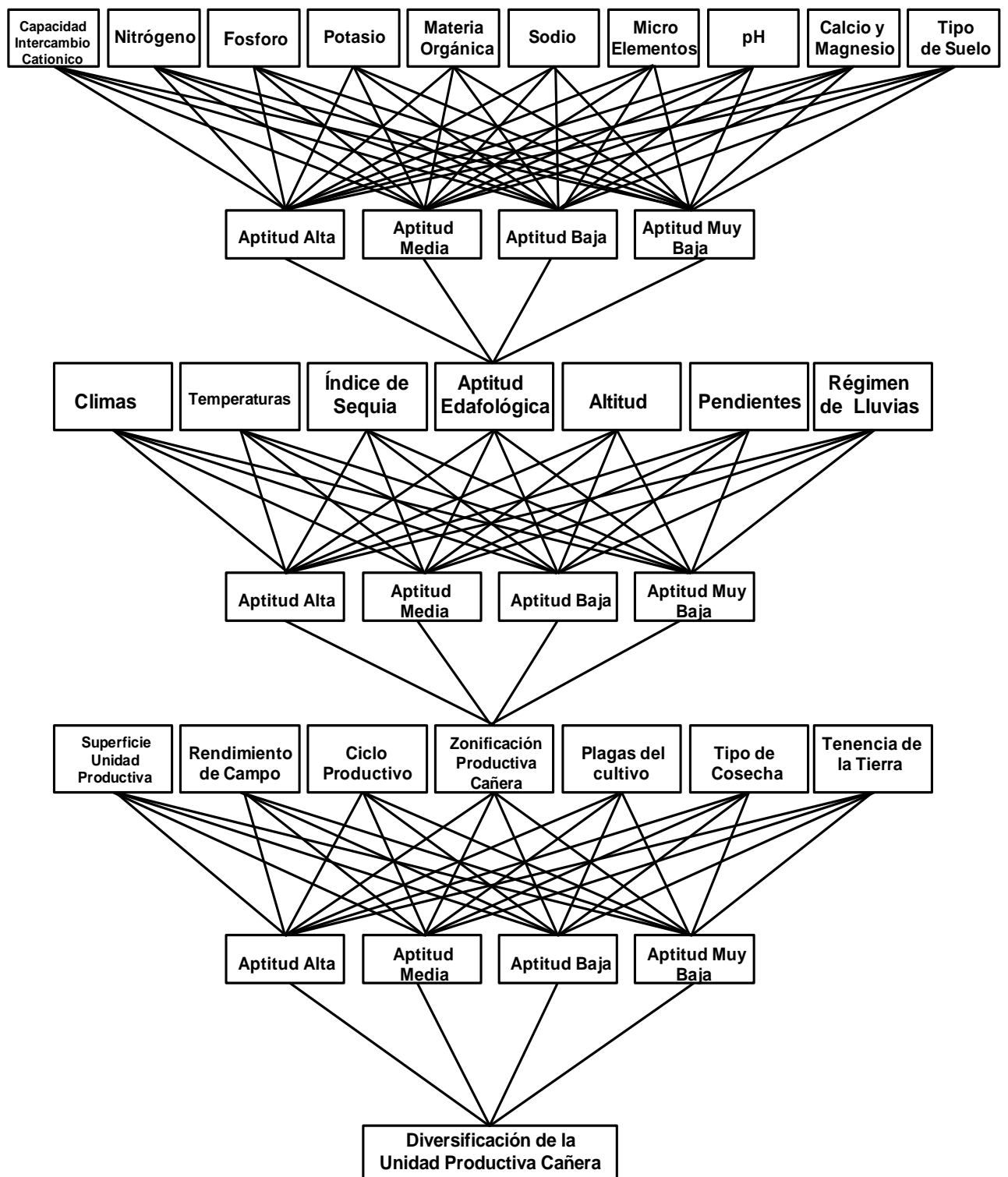


Figura 3.48. Estructura jerárquica para el análisis de la capacidad o aptitud para diversificar unidades productivas cañeras bajo régimen de temporal

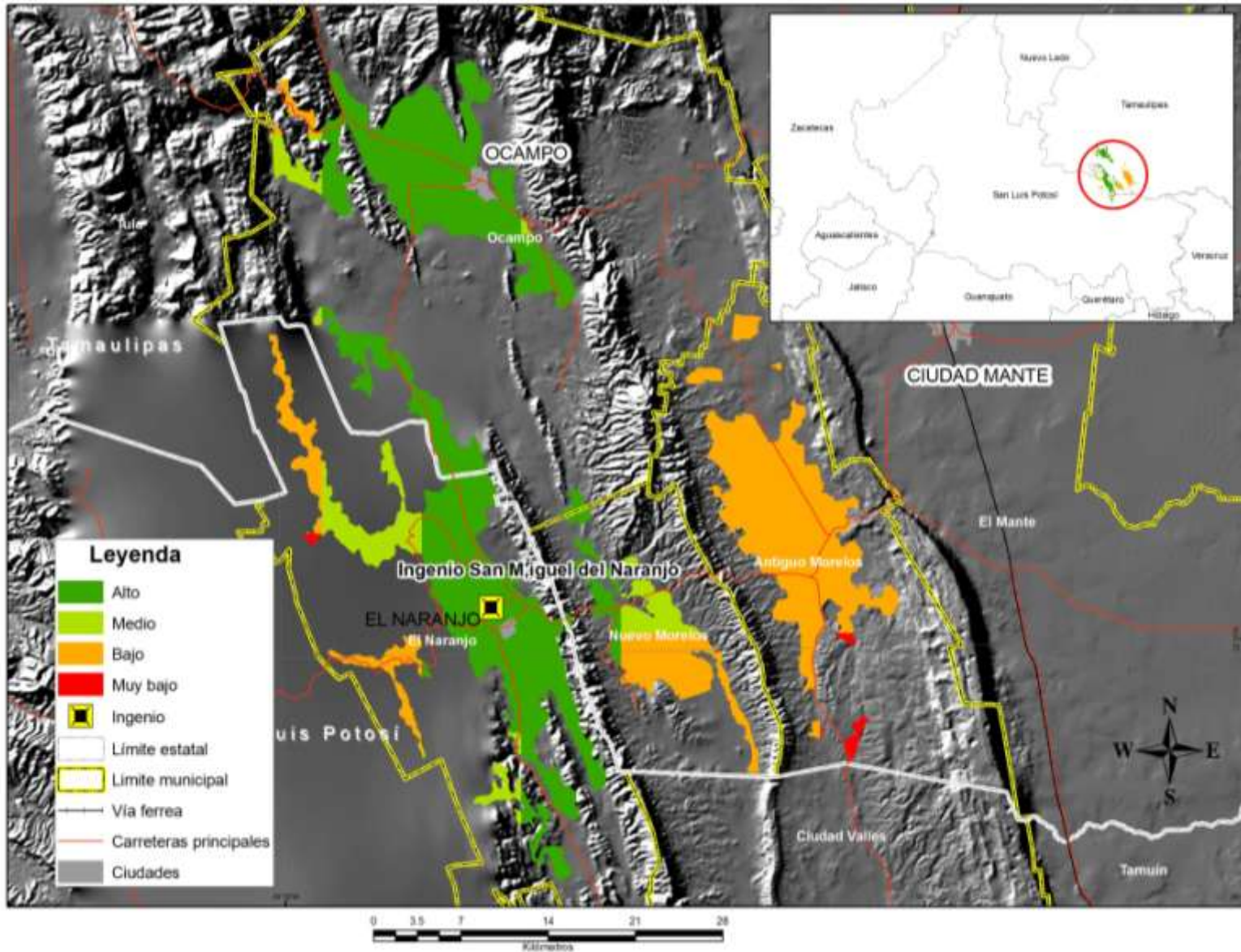


Figura 3.49. Distribución espacial de la superficie cañera por aptitud al cultivo bajo condiciones de temporal

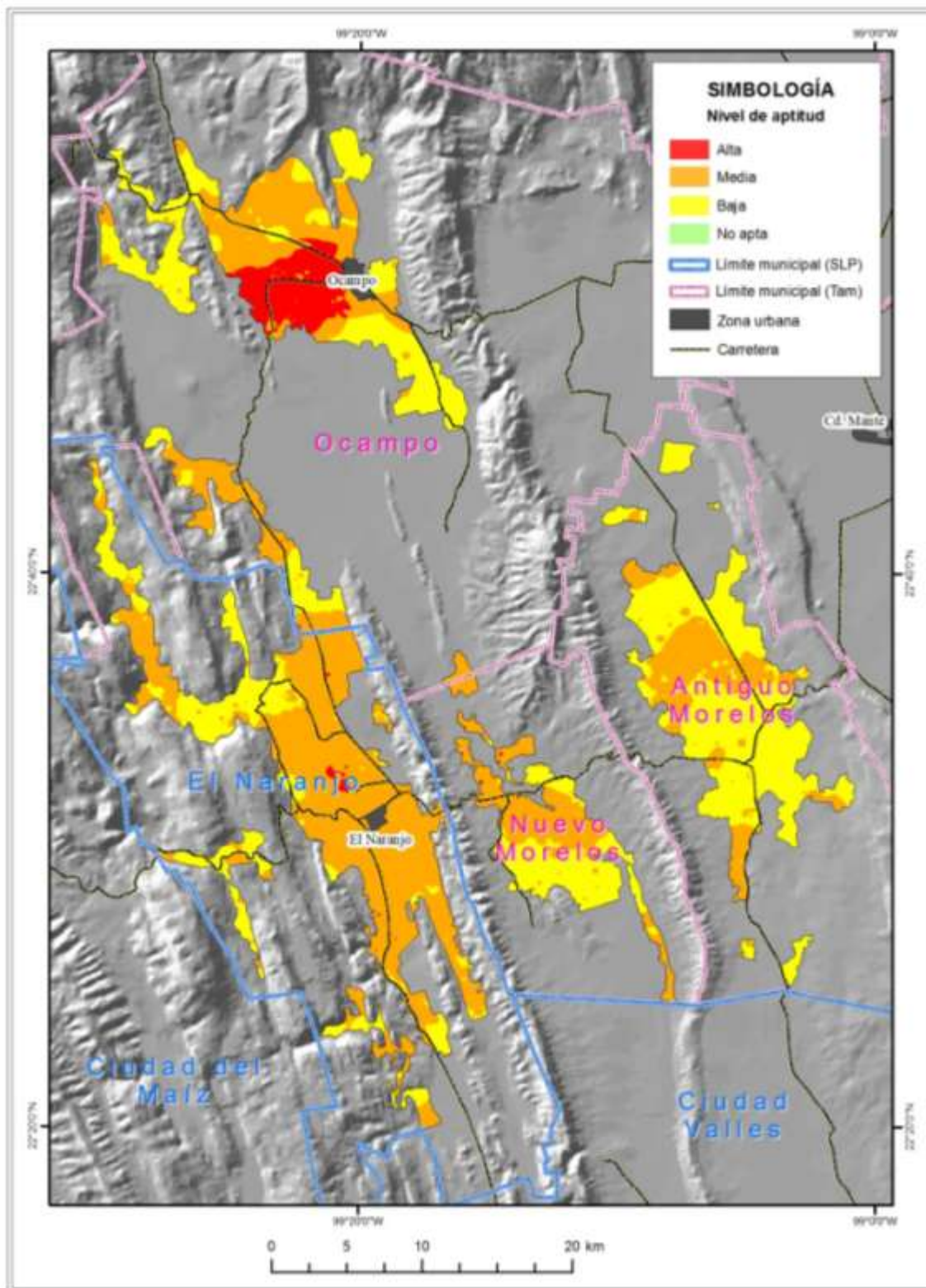


Figura 3.50. Aptitud edafológica al cultivo de caña de azúcar en la zona de abasto del ingenio San Miguel El Naranjo

Como los mapas factor o temáticos originales (Figuras 3.51 a 3.58) se miden en diferentes escalas tienen que ser normalizados a una escala uniforme de calificación de idoneidad. El método MCE dentro del modulo AHP del software ESRI ArcGis 9.2, requiere que todos los factores deban ser normalizados (escala 0 a 1). La normalización transforma las unidades de medida diferentes de los mapas de los factores en los valores de idoneidad comparables para determinar las características espaciales de la zona de abasto (Cuadros 3.36 y 3.37).

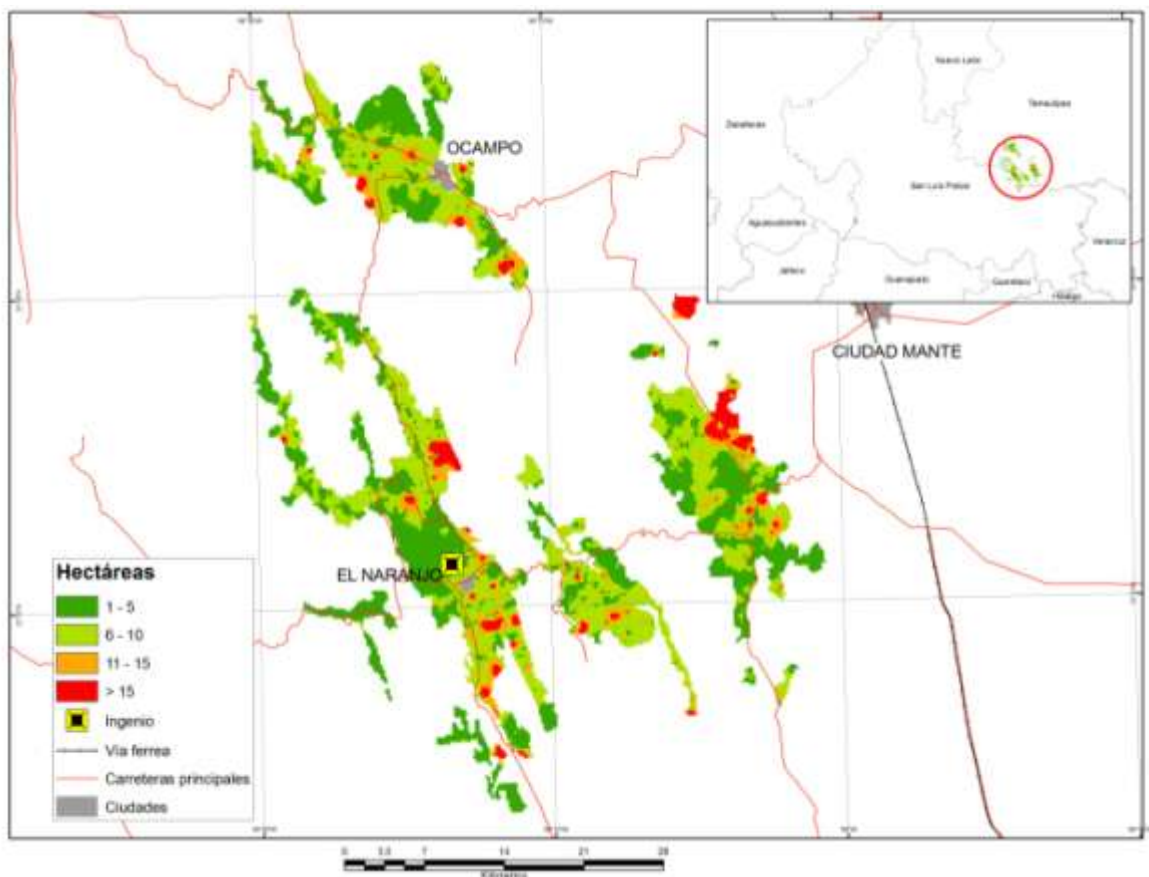


Figura 3.51. Tamaño de la unidad productiva (superficie por productor, ha)

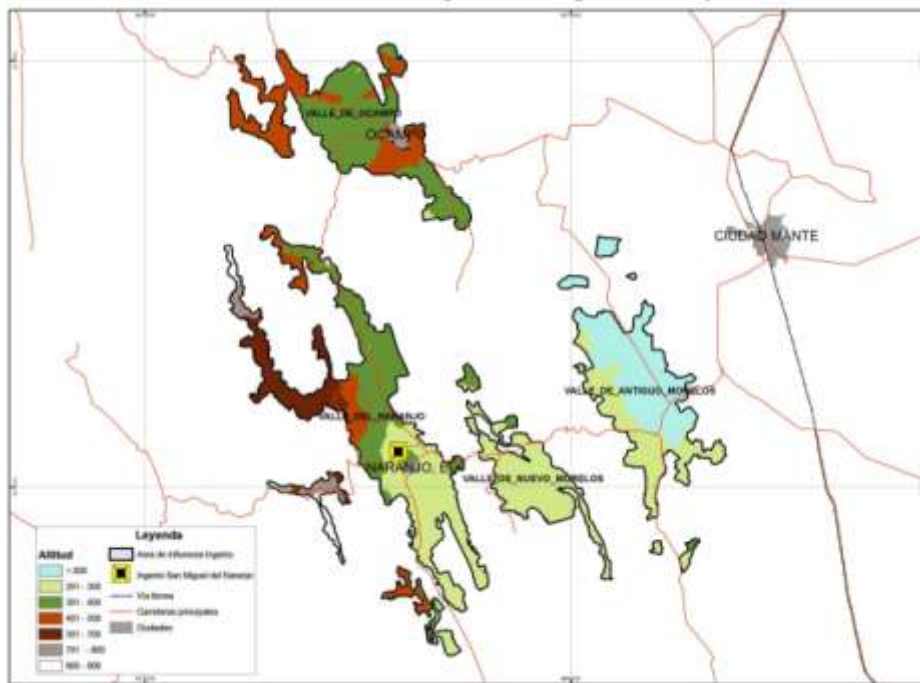


Figura 3.52. Variación altitudinal de la zona de abasto

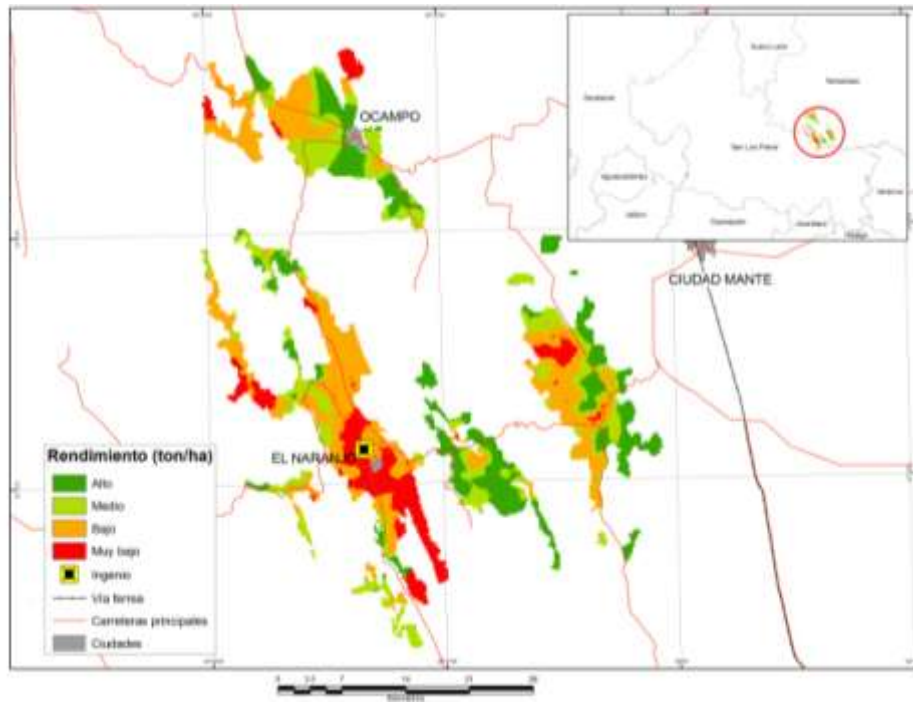


Figura 3.53. Rendimiento de campo (t/ha),

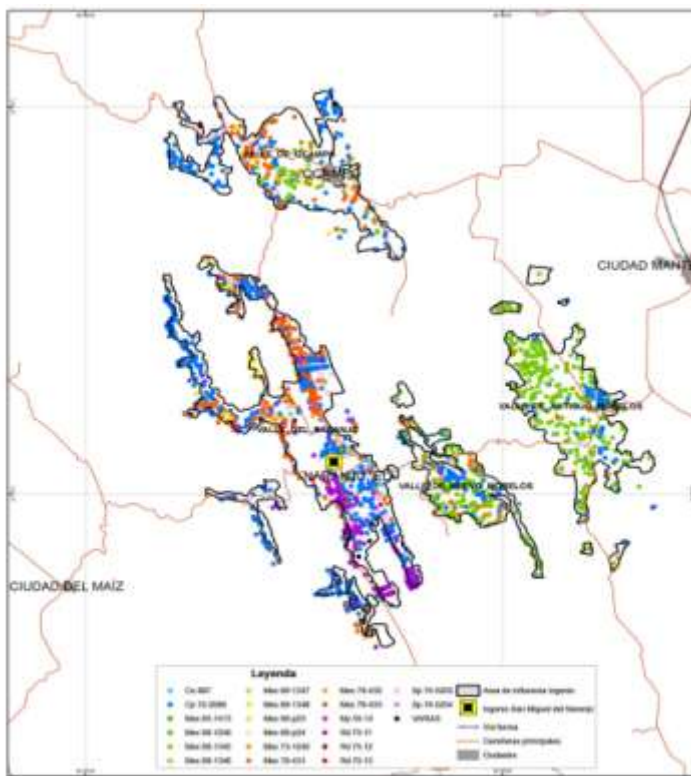


Figura 3.54. Variedades sembradas

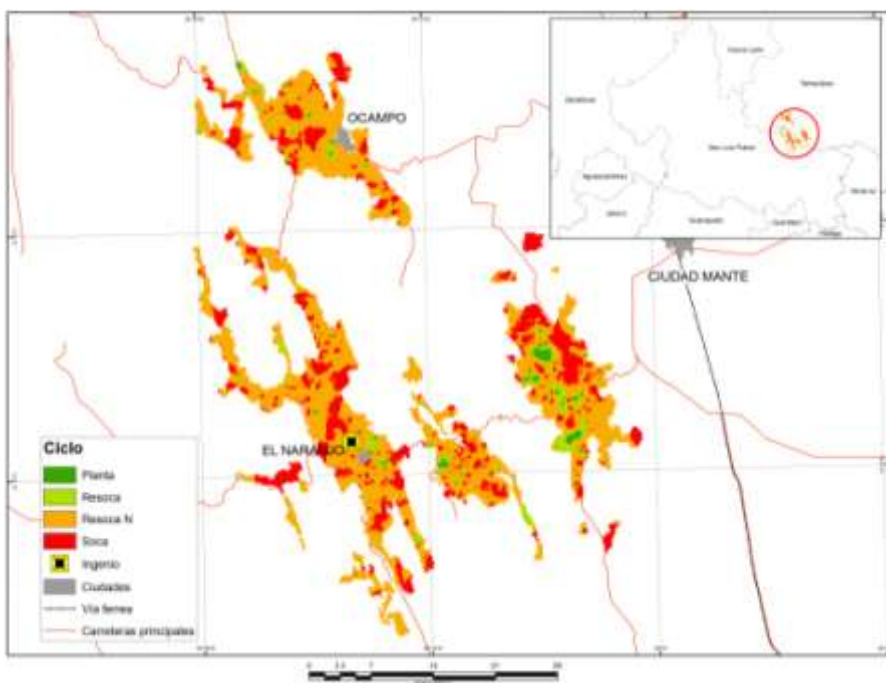


Figura 3.55. Ciclo productivo (planta, soca, resoca y resoca N),

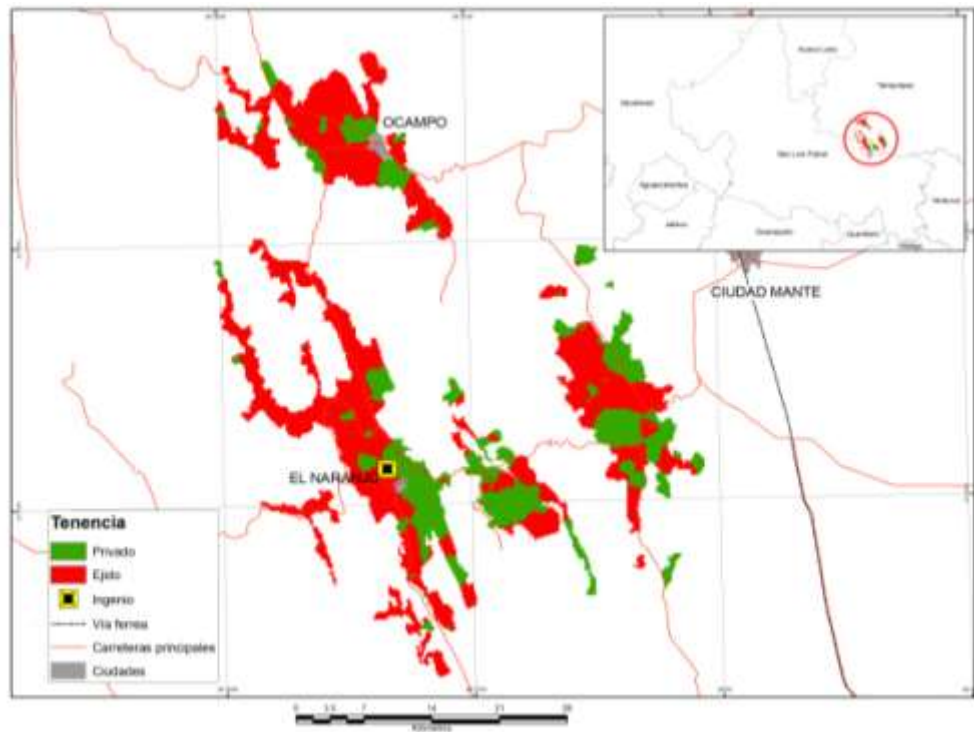


Figura 3.56. Tenencia de la tierra (ejidal o privada)

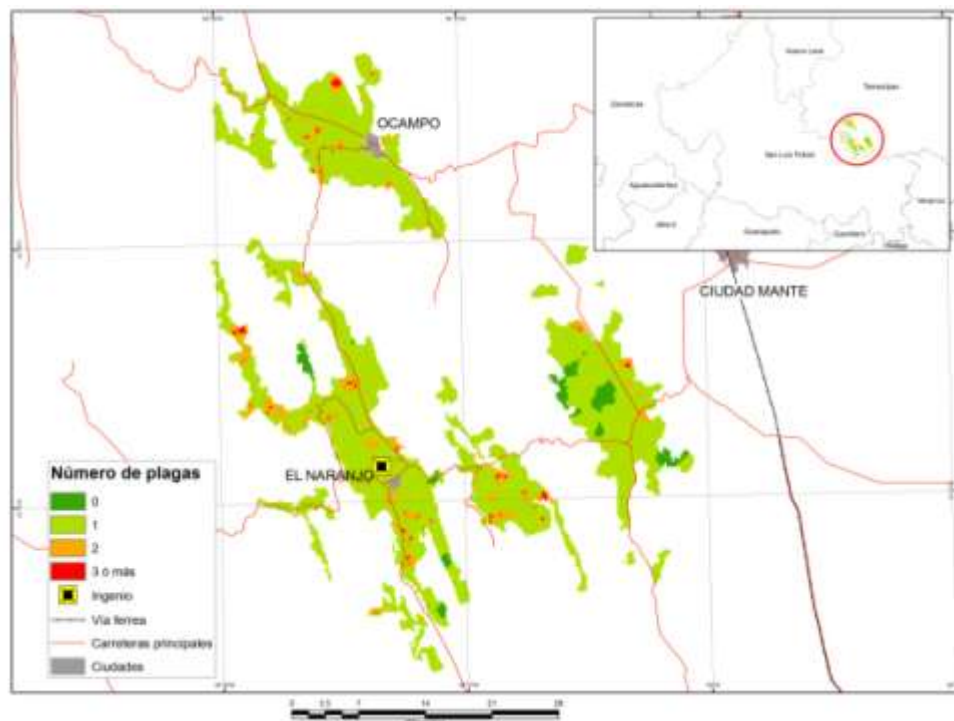


Figura 3.57. Número de plagas y enfermedades (mosca pinta, gusano barrenador, rata de campo, escaldadura, carbón, roya, etc.) que afectan al cultivo

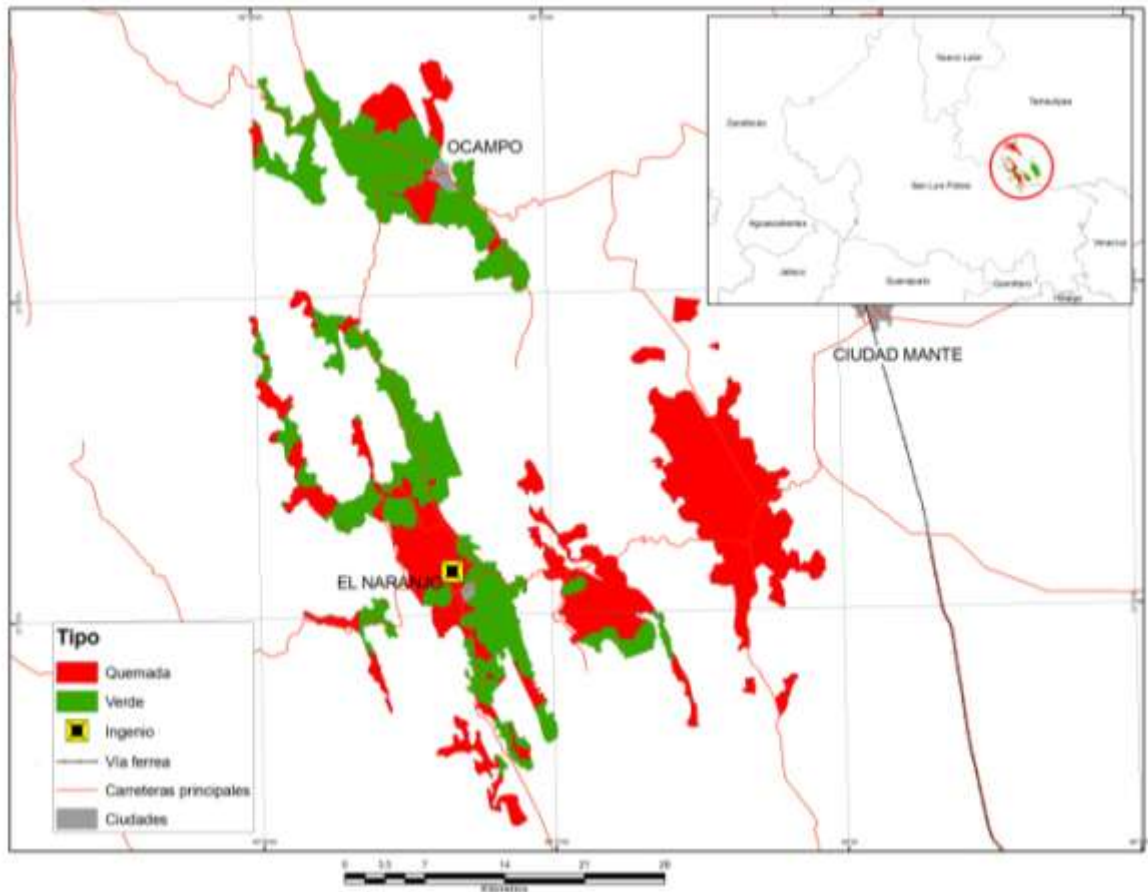


Figura 3.58. Tipo de cosecha (verde o quemada)

Cuadro 3.36. Indicadores de la zona de abasto (en ha por variable y %)

Rendimiento de campo (t/ha) superficie cañera	>85	84-75	74-65	<65
	6,209.00 37.5 %	3,734.25 22.55 %	3,776.25 22.80 %	2,842.00 17.16 %
Tamaño de la unidad productiva o superficie cañera (ha)/No. Unidades Productivas	>15	15-10	10-5	<5
	4,041.50 142 24.40 %	1,809.00 156 10.92 %	6,467.75 967 39.06 %	4,242.00 1391 25.62 %
	6.49	5.69	6.56	6.07
Ciclo productivo (planta, soca, resoca, resoca N) (ha) No. Unidades Productivas	Planta	Soca	Resoca	Resoca N
	1,712 305 10.34 %	3,898 625 23.54 %	4,664 812 28.16 %	6,288 915 37.97 %
	Con Afectación		Sin Afectación	
Plagas y enfermedades cañeras (ha) No. Unidades Productivas	8,409.25 1320 50.77 %		8,151.25 1336 49.23 %	
	Hasta 200	200-400	400-600	>600
	2,409.25 322 14.55 %	10,825.25 1,615 65.37 %	2,485.75 520 15.01 %	840.25 199 5.07 %
Tipo de cosecha (ha)/ No. Unidades Productivas	Verde		Quemada	
	2,629.00 358 18.875 %		13,931.50 2,298 84.125 %	
	Privado		Ejidal	
Tenencia de la tierra (ha)/ No. Unidades Productivas	6,831.25 640 10.67 ha/predio 41.25 %		9,729.25 2,016 4.83 ha/predio 58.75 %	
	CNC		CNPR	
	9,015.00 1,703 54.43 % 5.29 ha/predio		7,545.50 953 45.57 % 7.92 ha/predio	

Cuadro 3.37. Variedades de la zona de abasto

Variedad	CO 997	CP 72-2086	Mex 68-1345	Mex 68-P23	Mex 73-1240	Mex 79-431	RD 75 11	SP 74-5203
Superficie cosechada (ha)	98	6,786.75	4,102.25	398	153.5	2561.75	1,395.5	1,025.25
Superficie/productor (ha)	5.44	6.34	13.59	10.95	5.9	10.83	5.23	10.46
Unidades de producción	18	1,071	604	78	26	484	267	98

Una vez obtenidos los mapas base para evaluar la aptitud de la tierra para el cultivo de caña de azúcar, u otros usos, se obtuvieron la matriz de Saaty, la tabla de ponderación de variables, el instrumento para determinar el índice de diversificación de la zona cañera del Ingenio San Miguel del Naranjo, y el mapa que representa espacialmente la aptitud del territorio para establecer proyectos de diversificación con base en las unidades de producción de caña de azúcar y la base de datos que representa las operaciones espaciales (Cuadros 3.38 al 3.42 y Figura 3.59).

Cuadro 3.38. Matriz de Saaty (Nivel de inconsistencia IC=0.02)

Variables	Tamaño del predio	Rendimiento de campo	Ciclo productivo	Plagas y enfermedades	Tipo de cosecha	Tenencia de la tierra	Aptitud agroclimática
Tamaño del predio	1	2	2	2	4	6	3
Rendimiento de campo	1/2	1	2	7	7	7	2
Ciclo productivo	1/2	1/2	1	2	2	3	5
Plagas y enfermedades	1/2	1/7	1/2	1	2	3	7
Tipo de cosecha	1/4	1/7	1/2	1/2	1	2	7
Tenencia de la tierra	1/6	1/7	1/3	1/3	1/2	1	9
Aptitud agroclimática	1/3	1/2	1/5	1/7	1/7	1/9	1

Cuadro 3.39. Peso de variables (Nivel de inconsistencia IC=0.02)

Variable	Peso
Aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar	0.381
Rendimiento de campo	0.254
Tamaño de la unidad de producción, superficie cañera	0.144
Ciclo productivo (planta, soca, resoca, resoca N)	0.091
Plagas y enfermedades cañeras (mosca pinta, barrenador, rata, roya, carbón etc)	0.061
Tipo de cosecha (verde o quemada)	0.042
Tenencia de la tierra (privada o ejidal)	0.028
Total	1.000

Cuadro 3.40. Peso de variables por nivel (Nivel de inconsistencia IC=0.02)

Variables	Unidad	Puntos				Peso	Subtotal
		1	0.75	0.50	0.25		
Aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar		ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO	0.381	
		0.381	0.28575	0.1905	0.09525		
Rendimiento de campo	t/ha	>85	84-75	74-65	<65	0.254	
		0.254	0.1905	0.127	0.0635		
Tamaño de la unidad productiva superficie cañera	ha	>15	15-10	10-5	<5	0.144	
		0.144	0.108	0.072	0.036		
Ciclo productivo (planta, soca, resoca, resoca N)		Planta	Soca	Resoca	Resoca N	0.091	
		0.091	0.06825	0.0455	0.02275		
Plagas y enfermedades cañeras (mosca, barrenador, rata, roya, carbón etc)	#	0	1	2	3 o mas	0.061	
		0.061	0.04575	0.0305	0.01525		
Tipo de cosecha (verde o quemada)		0.90		0.10		0.042	
		Verde		Quema			
Tenencia de la tierra (Privada o ejidal)		0.0378		0.0042		0.028	
		Privada		Ejidal			
		0.0252		0.0028			

La aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar es el factor más importante, seguido por el rendimiento de campo y el acceso a la tierra o tamaño de la unidad productiva o superficie cañera ya que juntos explican el 77.9 % de la capacidad para diversificarse. La aptitud, con un peso de 0.381, tiene un impacto importante ya que determina la capacidad del territorio para producir materia prima, en cantidad y calidad, por ciclo productivo y expandir la frontera agrícola actual. Estos efectos están

estrechamente vinculados con la calidad del suelo, las condiciones climáticas y la afectación por plagas bajo régimen de temporal. Por lo tanto, existe un fuerte vínculo entre la aptitud y el tipo de gestión agrícola que determina el desarrollo agrícola en la región.

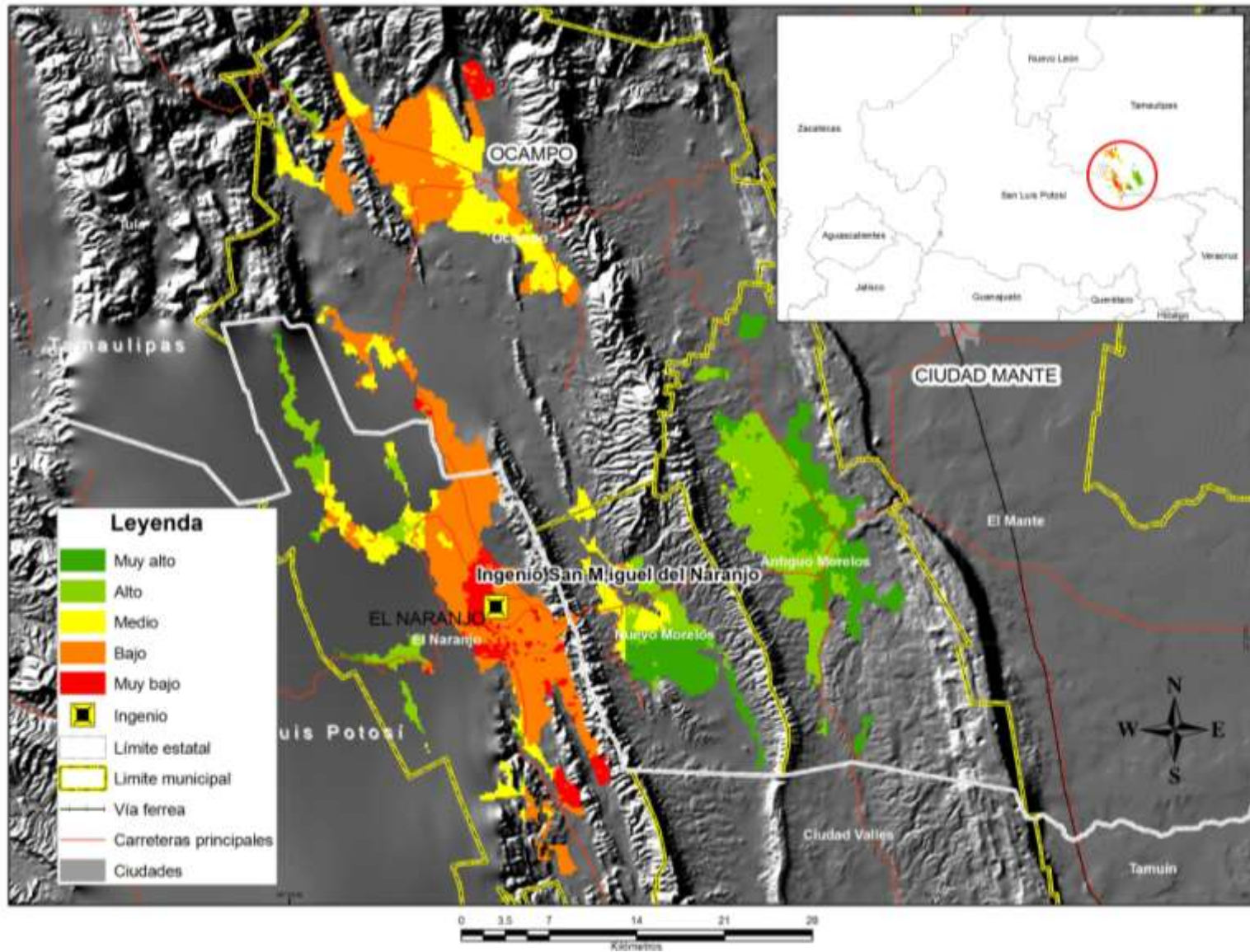


Figura 3.59. Distribucion espacial de la zona cañera por nivel de aptitud o índice de diversificación

Cuadro 3.41. Indicadores de la unidad de producción cañera (%) de la superficie total por nivel de aptitud o capacidad para diversificar la producción cañera (Índice de Diversificación)

Índice de diversificación	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Tenencia		Tipo de cosecha		Tamaño del predio (ha)			
			Privada	Ejidal	Verde	Quema	>15	15-10	10-5	<5
Muy Alto	8872.76	16.084	63.91	36.38	11.65	89.07	13.35	10.40	50.06	26.00
Alto	12089.39	21.915	27.07	73.20	14.35	86.39	2.69	4.33	40.66	51.88
Medio	10376.72	18.810	27.83	72.37	60.78	39.98	3.53	8.13	49.17	38.69
Bajo	20593.31	37.330	25.88	74.31	72.19	28.22	4.79	7.59	51.45	36.03
Muy Bajo	3233.74	5.862	17.53	82.65	34.55	66.10	0.04	0.65	23.72	75.20

Cuadro 3.42. Indicadores de la zona cañera (%) de la superficie total por nivel de aptitud o capacidad para diversificar la producción cañera (Índice de Diversificación)

Aptitud al cultivo				Numero de plagas				Rendimiento de campo (t/ha)				Ciclo productivo			
Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	0	1	2	3	>85	84-75	74-65	<65	Planta	Soca	Resoca	Resoca N
0.29	0.49	96.15	3.07	4.81	87.19	7.48	0.80	70.89	26.54	2.11	0.27	2.76	6.81	64.81	25.90
0.30	12.86	86.63	0.22	9.69	84.26	5.43	0.89	10.38	27.70	53.49	7.99	5.09	11.53	54.38	29.28
68.57	29.79	1.64	0	0.89	90.12	8.12	1.07	52.39	24.58	16.83	5.71	1.88	5.30	81.52	11.49
97.84	2.01	0.15	0	0.94	90.63	7.85	0.77	1.12	25.28	56.39	17.06	1.00	3.90	70.83	24.47
99.88	0.00	0.12	0	3.41	87.25	9.28	0.25	0.34	0.07	5.93	93.28	0.12	3.89	52.04	44.13

El mapa resultante contiene píxeles con diversos grados de aptitud en escala de 0 a 1 (muy bajo a muy alto), agrupados en cuatro clases basadas en la estructura de la clasificación de aptitud. El más apto (alto y muy alto) indica que el 38 % de la superficie total del estudio (55,165.92 ha), es decir 20,962.15 ha, presenta limitaciones menores que no afectan significativamente a la agricultura cañera. Esta zona se caracteriza por tener el mayor porcentaje de cañas en ciclo planta y soca, rendimiento de campo mayor a 85 t/ha y se ubica en el rango medio de productividad es decir de 84-75 t/ha, con menor afectación por plagas, predios mayores a 15 ha y tenencia privada.

Si bien las regiones agroecológicas (determinantes biológicos, químicos y físicos que tienen tiempos, condiciones y procesos independientes de lo económico) tienen un impacto significativo sobre la capacidad para diversificar las explotaciones agrícolas tradicionales, tal y como lo plantearon Anosike *et al.* (1990), en esta zona las unidades productivas son más grandes y podrían ser más diversificadas tal y como lo plantearon Singh *et al.* (1985) y Gupta *et al.* (1985).

Melhim *et al.* (2008) y Mishra (2002) mencionaron que cada unidad productiva cañera puede mejorar sus ingresos si la productividad y una mayor intensificación de los cultivos mejora, en esta zona sería posible diversificar las explotaciones de mayor tamaño con mayor rapidez que las de mediana explotación ya que las economías de escala disminuyen con el tamaño, y estas podrían crecer más mediante la diversificación de la producción sin disminuir la entrega de caña para el ingenio debido a la disponibilidad de recursos a nivel familiar (fuerza de trabajo, tierra, agua, y capital); en este sentido, la productividad creciente del campo permitiría una mayor cantidad de subproductos para otras producciones o ingresos (Gerritsen, 2008).

Las zonas con nivel de aptitud alto a muy alto se localizan en los municipios de Antiguo Morelos y Nuevo Morelos, lo cual tiene un alto grado de similitud con el análisis previo de municipios cañeros obtenido por evaluación multicriterio (Figura 3.60). Estos municipios presentan características que Haque *et al.* (2010) y Prado (2008) definieron como territorios donde factores como tamaño de la unidad productiva superior a la media, tenencia privada, disponibilidad de tierras con aptitud y fertilidad, rendimiento de cultivos de alto valor, alto costo de cultivos, riego, posibilidad de expansión del cultivo y materias primas, tierras de pastoreo, acceso a crédito y mercados regulados, infraestructura (caminos rurales, electrificación rural, hospitales), proximidad al mercado consumidor, mano de obra, soporte institucional o gubernamental y alfabetización y nivel educativo, existencia de unidades productivas relacionadas, Índice de Desarrollo Humano pueden explicar a nivel local la diversificación agrícola, ganadera, forestal y pesquera.

Es decir, las economías de escala, la adecuación agroecológica de las tierras, riego, mecanización (sobre todo la cosecha), fertilizantes, gestión de plagas y los procesos gerenciales permiten a los agricultores cañeros de esta zona (Cuadro 3.26) la producción de materia prima con mayores ventajas relativas o, al menos, las menores desventajas derivadas de los factores físicos (climáticos, edafológicos etc.) y biológicos y las fuerzas económicas que limitan las posibilidades de su empresa. En contraste, las zonas de media a muy baja aptitud poseen la mayor proporción de superficie cañera con aptitud agroclimática pero con fuerte condicionantes socioeconómicas y procesos

gerenciales sin visión empresarial sistemática o formal lo que determina las limitaciones de la expansión de la actividad y, en cierta medida, por la continuidad o supervivencia del negocio mismo de la manera actual (Mishra *et al.*, 2004).

En este sentido, las pequeñas escalas de producción para el cultivo de caña de azúcar (plantación agroindustrial), generalmente de tipo ejidal, se asocian con lotes de costos altos y poco competitivos, ya que no tienen capacidad para aprovechar las ventajas comparativas (aptitud agroclimática) y las que se derivan de la producción en masa, y operan, por lo tanto, con rendimientos decrecientes en sus funciones de producción por debajo de la frontera de eficiencia. Es decir, las unidades productivas cañeras más pequeñas son más especializadas y tienden a aumentar el grado de especialización más rápido que las grandes explotaciones. Por lo tanto, tienen menor diversificación y mayor grado de especialización (Weiss, 2002). Los agricultores de estas zonas no realizan diversificación alguna, pues llevan a cabo un proceso especializado en un solo cultivo. Se especializan porque no pueden diversificar, o porque la diversificación no es atractiva (Merton, 1972).

Estos factores juegan diferentes niveles de importancia de la adecuación del sitio de las tierras de cultivo hacia la diversificación como lo fue demostrado en el análisis de estados y municipios cañeros. Desde la perspectiva del mapa de aptitud resultante, este instrumento de gestión está destinado a guiar las decisiones regionales para un proceso de toma de decisiones del uso de la superficie cañera con fines de diversificación.

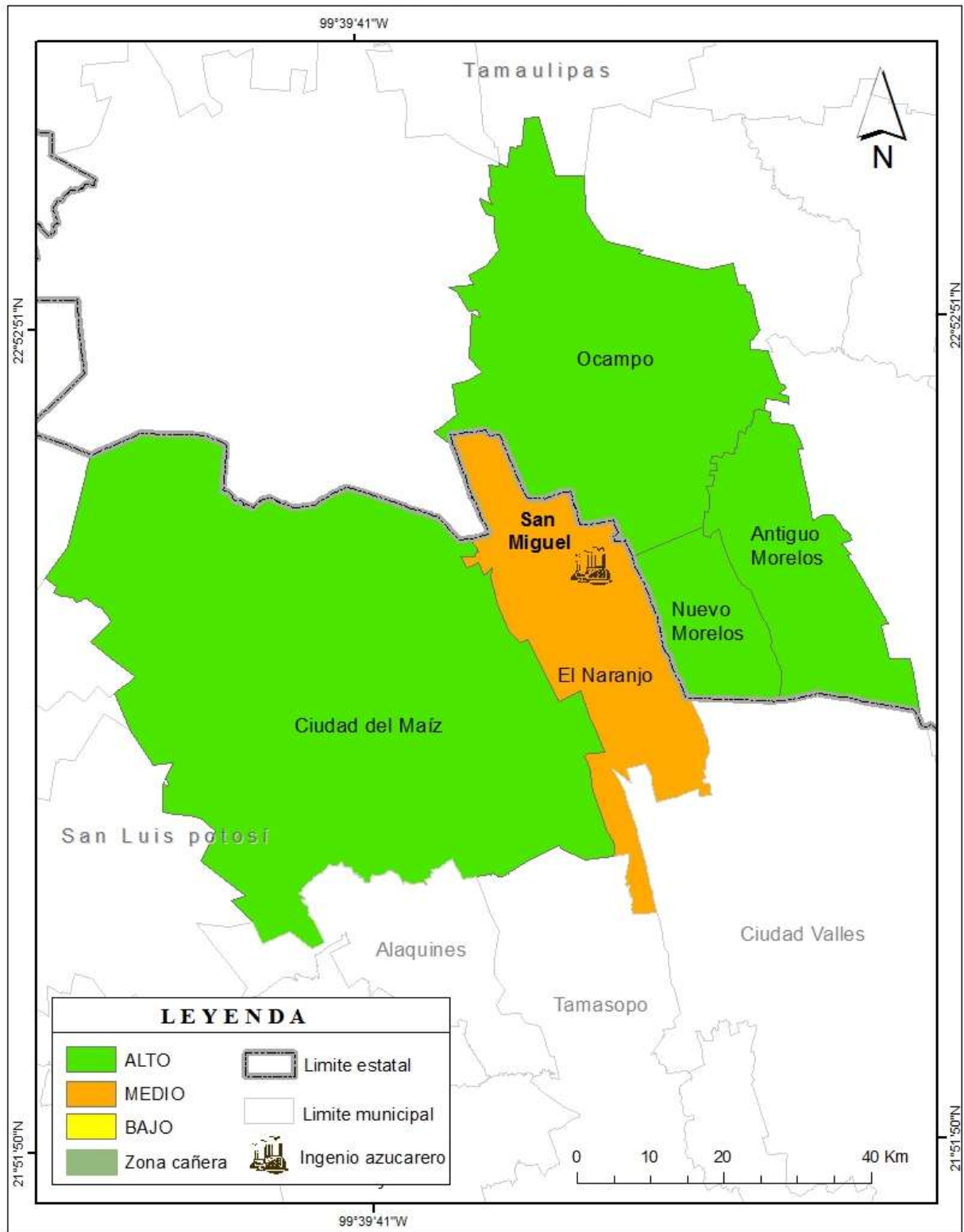


Figura 3.60. Índice de diversificación de los municipios de la zona de abasto del Ingenio San Miguel del Naranjo

La clasificación espacial en zonas de muy alta a muy baja aptitud establece, según Chaplin (2000), que además de los factores que caracterizan a las zonas por capacidad para diversificarse, existe un conjunto más amplio de razones que podrían explicar diversos niveles de especialización y diversificación. En primer lugar, los recursos disponibles (tipo de suelo clima, disponibilidad de agua, etc.) afectan a las oportunidades para el cultivo base y otras producciones (cultivos, ganadería, microempresas, pesca, turismo, agroforestería, etc.). Además, los agricultores tienen diferentes niveles de conocimientos y experiencias sobre las actividades específicas de producción, y los planes de explotación fuera de esta base de conocimientos podrían ser más riesgosos. Esto implica que las zonas con antecedentes de monocultivo (único cultivo que interesa comercialmente) tienden a permanecer especializados. En segundo lugar, el grado de diversificación en los mercados regionales o nacionales y aun mundiales influirá en la producción. Un mercado poco diversificado tiende al monocultivo. En tercer lugar, las restricciones de acceso al mercado tienden a reducir la gama de mercancías producidas y el monocultivo. En cuarto lugar, la infraestructura que prevalece en las zonas rurales afecta la disponibilidad de insumos y acceso a los mercados. Por lo tanto, la infraestructura deficiente puede limitar la diversificación y aumentar la tendencia al monocultivo. En quinto lugar, pero no por ello menos importante, están los factores históricos y políticos como la colonización y la legislación gubernamental, que creó las plantaciones y dejó una infraestructura y recursos sesgada hacia el monocultivo y un aumento de la propensión a la especialización.

Sin embargo, a escala local, los agricultores pueden o no adoptar el plan de diversificación porque sus decisiones en el uso del suelo se ven afectadas principalmente por sus condiciones económicas y otros factores no determinados ya que existe poca información para identificar su disposición para explorar oportunidades de diversificación.

Es decir, el problema operativo principal de la multifuncionalidad de la agricultura cañera obtenido es valorar sus diferentes funciones pues la mayor parte de estas funciones corresponden a bienes o servicios no comerciales, que no tienen un precio especificado en el mercado, lo que significaría la necesidad de disponer de un indicador que permitiera comparar con otros componentes o indicadores para el análisis de las características técnicas y socioeconómicas. Es decir, la relevancia de los factores que no han sido revelados a través de un enfoque cuantitativo (evaluación multicriterio); para ello, los resultados basados en la metodología de encuestas y un análisis de los actores relevantes para su implementación proporcionaría una guía para el diseño de futuras alternativas productivas con base en la caña o sus subproductos. En particular, la integración de bases de datos espaciales y los conocimientos de expertos y actores de la agroindustria mejora significativamente la capacidad de decisión al llevar a cabo las evaluaciones de aptitud de tierras. Además, el enfoque destaca la participación en el proceso en la toma de decisiones (Northcote, 2010; Dang Khoi, 2010), es decir, esta sinergia proporcionará un marco eficaz para estandarizar la evaluación de tierras, la selección de los factores de evaluación y la identificación de una ponderación adecuada para cada factor que carece de amplitudes y pesos claramente definidos y que tienen una influencia directa en los resultados de diversificación para la zona cañera en la región

De acuerdo con las metodologías de Rodríguez-Borray G (2008, 2010), Dang Khoi, (2010), Windle y Rolfe (2005), Domínguez *et al.* (2004) y Sánchez (2003) se elaboró un cuestionario (Cuadro 3.43) cuyas preguntas semiabiertas incluyeron las características del productor, los recursos ecológicos de que dispone, la tecnología que utiliza, los usos finales de la caña y sus proyectos de ingresos. Se realizó una prueba preliminar del cuestionario con cinco investigadores del campo experimental “El Estribo” a raíz de la cual se hicieron las correcciones pertinentes. Para la encuesta se llevaron a cabo cinco recorridos de campo en vehículo por la red vial de la zona de abasto del Ingenio San Miguel del Naranja donde se realizaron entrevistas en su domiciliarias y en ocasiones en su parcela o propiedad durante los meses de enero a junio de 2010. Para la localización de algunos productores y líderes cañeros productores, principalmente de la pequeña propiedad (CNPR) y ejidarios (CNC), se tuvo que recurrir a los oficinas de los respectivos líderes. Se obtuvo una muestra de 30 productores seleccionados de acuerdo con su disponibilidad e interés para ser entrevistados y encuestados, manteniendo su ubicación y nombres confidenciales, con lo cual se construyó una hoja de cálculo para el análisis.

Cuadro 3.43. Composición del instrumento de encuesta y entrevista

Variable	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Edad del productor	25-35	35-45	45-50	>50
Escolaridad	Ninguno o primaria incompleta	Primaria y/o secundaria	Bachillerato	Licenciatura
Superficie cañera (ha)	<1	1-5	5-10	>10
Tenencia de la tierra	Ejidal		Privado	
Organización cañera	CNC		CNPR	
Variedades	RD 75-11	Tipo Mex	CP 72 2086	Otras
Rendimiento de campo	<45	45-55	55-65	>65
Ciclo del cultivo	Planta	Soca	Resoca	Resoca N
Limitante al cultivo	Fertilización	Plagas	Agua	Otros
Motivos para sembrar caña	Mercado seguro	Rentabilidad	Decisión del ejido	Otros
Otros ingresos	Si		No	
Plagas del cultivo	1	2	3	>3
Destino de la producción	Ingenio	Ingenio y Trapiche	Ganadería	Otros
Otros cultivos o ganadería	Si		No	
Maquinaria agrícola	Ninguna	Tractor	Alzadora	Paquete completo
Asistencia técnica	Si		No	
Credito	Si		No	
Riego	Si		No	
Contratación de personal	Si		No	
Sabe de la diversificación	Si		No	
Se diversificará	Si		No	
Proyectos de diversificación	Si		No	
Motivos para diversificarse	Baja o alta rentabilidad del cultivo de caña	Mercado seguro	Experiencia	Otros

A partir de los resultados fue posible definir un modelo específico para la diversificación del área cañera, considerando sus características, experiencia y percepción sobre el tema, datos disponibles, la escala espacial y temporal de sus producciones y sus metas a corto y mediano plazo. Los resultados se resumen en el Cuadro 3.44.

Cuadro 3.44. Composición de las encuestas y entrevistas

Variable	Porcentaje (%)			
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Edad del productor	0	16.13	29.07	54.8
Escolaridad	19.35	48.4	19.35	12.9
Superficie cañera	0	42	19.3	38.7
Tenencia de la tierra	42		58	
Organización cañera	45		55	
Variedades	3.22	64.5	19.35	12.93
Rendimiento de campo	0	29	29	42
Ciclo del cultivo	5	17	24	54
Limitante al cultivo	25	28	40	7
Motivos para sembrar caña	85	5	2	3
Otros ingresos	71		29	
Destino de la producción	77.4	12.9	5	4.7
Otros cultivos o ganadería	38.7		61.3	
Maquinaria agrícola	41.9	29	19.35	9.75
Asistencia técnica	49.4		51.6	
Credito	49.1		41.9	
Riego	29		71	
Contratación de personal	34.5		64.5	
Sabe de la diversificación	93		7	
Se diversificara	46		54	
Proyectos de diversificación	29		71	
Motivos para diversificarse	61.3	5.4	4	29.3

Con base en los anteriores indicadores, y de acuerdo con García de Quevedo (2006); Domínguez *et al.* (2004); Sánchez (2003) y Paz (1999), es posible definir que en el campo cañero de la zona de estudio existen cuatro tipos de productores con base en el tamaño de la unidad productiva que presentan diversos puntos de vista en las entrevistas llevadas a cabo respecto a la agroindustria azucarera y su diversificación en función de sus características socioeconómicas :

Grupo 1: Pequeño productor cañero independiente (de hasta 1.5 ha de caña ciclo resoca no renovada con variedades tipo Co-997, con rendimiento de hasta 45 t/ha) sin posibilidades de expansión agrícola, sin acceso a riego, con bajo nivel de uso de fertilizantes y capacitación con nivel educativo bajo (tan solo la primaria incompleta). Con bajos niveles de capitalización y fuerte articulación al mercado laboral como oferente de mano de obra, sin posibilidad de comercializar totalmente su caña a los ingenios. Generalmente la caña se canaliza al consumo personal o a la venta a vecinos para la producción artesanal de piloncillo con escasa tecnología; su comercialización es a nivel local junto con cultivos como maíz y frijol y Las únicas opciones alternativas al cultivo de caña son la migración y la contracción como jornalero.

“En 1.5 ha sembradas, con la limitante de que si llueve me va bien, produzco 60 t/ha, tengo variedad CP 72-2086 en resoca 4, soy jornalero con otros productores ricos. Para que la caña sea rentable necesitaría de 4 a 5 ha. De la diversificación no se nada”.

“La venta de piloncillo es buena en vacaciones en la cascada de Minas Viejas, pero en general la caída e inestabilidad de precios del piloncillo que vendíamos a los coyotes a niveles poco rentables ocasiona un desestímulo a la siembra de nuevas áreas de cultivo y que los cultivos de caña para piloncillo no sean mantenidos en forma adecuada, provocando la disminución del rendimiento y de la producción. “uno ya conoce la caña y sabe que, así esté malo, el precio deja, pero tampoco puede vivir del solo piloncillo o el jugo y el melado en temporada de vacaciones, y el ganado necesita menos gente y deja algo de dinero; ..antes tenía harto maíz pero con la sequía fui sacándolo poco a poco y mejor metiendo caña al ingenio”

“Tengo 1.5 ha de caña; entrego una al ingenio y, el resto, hago piloncillo de octubre a enero; solo así obtengo ingresos que complemento con los apoyos del gobierno, principalmente por ser adulto mayor y las remesas de mis hijos. En esta situación no podría vivir de la caña, no cultivo otra cosa principalmente para conservar el IMSS; pienso que podría sembrar otros cultivos o poner una vaquitas solo si tuviera mas terreno y fuera mio”.

“Yo como pequeño productor pienso que no se puede tener una sola cosa; es mejor diversificar y la caña da para muchas cosas como el ganado, que se hacen complementarios: la caña da la paja para el alimento del ganado y el ganado da el abono para la caña. Sin embargo, solo tengo una hectárea y prefiero entregarla al ingenio por el seguro y la jubilación”.

“En una superficie de 0.5 a 2 ha con una productividad de 35 a 40 t/ha la mayoría de los pequeños productores no renunciamos a cultivar caña por varias razones, la baja productividad del cultivo se compensa con el accesos a la seguridad y los servicios médicos del IMSS y una jubilación para los ancianos que sólo se consigue al cultivar la caña. ¿Cambiar a otros cultivos? no creo, porque son más susceptibles a las plagas, clima y los coyotes, requieren fertilizante, y si tengo caña en mi terreno no puedo sembrar otra cosa porque lo que le eche a la caña afecta al jitomate, el frijol y la calabacita. También con la caña se trabaja menos durante el año, excepto al cosechar. Incluso las mujeres la pueden atende. Está también la tradición de cultivar caña; los compañeros y yo apreciamos la experiencia y los conocimientos adquiridos de nuestros padre y la sensación de pertenecer a una comunidad cañera, y por ultimo es decisión del ejido continuar con la caña”.

Grupo 2: Pequeño productor cañero afiliado a la C.N.C. o C.N.P.R. Posee entre 1.5 y 5 ha de caña ciclo resoca en su mayoría, sin riego y con baja rentabilidad (alrededor de 55 t/ha). Son productores campesinos que se caracterizan por utilizar en su explotación mano de obra familiar y por carecer de mecanización; sus plantíos tienen alta susceptibilidad a heladas, sequías y plagas; su educación llega hasta secundaria, aunque usualmente incompleta. Generalmente la caña se entrega al ingenio o a trapiches de forma estacional. Producen hortalizas, maíz y algo de ganado, alimentado con la caña misma. Puede acceder a una limitada o nula línea de crédito. Las variedades que emplea son Mex 68 P 23, CP 72 20-86 y Co-997.

“Producir caña con 2 ha con variedad RD 75-11 es rentable para esta superficie sólo si el rendimiento es mayor de 70 t/ha y al precio de liquidación que actualmente tiene (\$ 450.00/t) o mayor como se nos prometió en la CNC (alrededor de \$ 700.00/t). Y si el ingenio nos impulsa con fertilizante, créditos para siembras, como pequeños productores no nos conviene echar a andar el trapiche porque sale más caro, y luego los coyotes nos pagan poco por la producción y perdemos mas. Sólo le entramos si se nos queda la caña o otros productores vecinos nos la venden. En relación a otros ingresos, ganado no tengo, trabajo como jornalero y sólo cuando volteo la caña siembro frijol”.

“La caña tiene una rentabilidad media; en 2.5 ha, con 48 t/ha en la Mex 68-P-23 y la Co-997 en resoca 5, apenas se saca para medio comer. Yo no le echo nada de químicos. Los líderes no nos apoyan, sólo hablan y promete; nuestra esperanza es que el ingenio cumpla la promesa de pagar mejor la caña. Nos completamos como jornaleros. Hemos oído de la diversificación del etanol pero no sabemos qué es; sólo esperamos que si llega nos paguen mejor la caña”.

“La caña es rentable, siempre y cuando se tenga agua y no caigan heladas; el rendimiento varia de 50 a 80 t/ha en la CP 72 2086, dependiendo de la fertilización. Se siembra caña a pesar de que el ingenio no paga porque él viene a recogerla debido a que aumenta su rendimiento a pesar de la distancia. Como negocio se levantan 3 ha para el ingenio para conservar el seguro social y el resto se da a las vacas de forma integral, como práctica común entre los productores vecinos; o bien se vende a otros ganaderos o a los trapiches cercanos. En esta zona no hemos escuchado a el líder hablar de la diversificación”.

“La caña si es rentable con 5 ha y una producción de 65 t/ha mínimo y, si se tiene riego, con 80 t/ha. La variedad que tengo es Mex 79-431 y CP 72 20-86, y me ha resultado bien trabajar con el ingenio porque liquida a tiempo y da apoyos y asistencia para el cultivo. No existe buena comunicación con el actual líder de CNPR porque tiene sus allegados. He escuchado de la diversificación con el etanol pero creo que es una mentira; el ingenio solo produce azúcar y los productores vecinos creen que la caña va a valer mas pero no lo creo. Yo no siembro otra cosa, solo un poco de maíz y frijol cada seis años cuando volteo la caña”.

“En 4 ha, tres para el ingenio y una para alimentar animales, rinde de 50 a 80 t/ha dependiendo de la lluvia a pesar de la altura a la que produzco caña y la variedad CP 722086 no florea, aquí en la zona es práctica común alimentar al ganado con caña ya sea producida o comprada a los demás productores, además existen algunos trapiches rústicos. Pese a la lejanía con el ingenio, éste sigue comprando la caña debido a que necesita mas caña que no puede ser abastecida con los campos carcanos debido a la caída de la productividad”.

“Como productor de 4 ha no sabemos nada de la diversificación. Entregamos caña al ingenio por el IMSS y algo de ingresos; somos jornaleros, y después de la zafra con la caña quedada de otros productores y 1.5 ha que tenemos extra para alimentar nuestro ganado, producimos piloncillo, de forma rústica, que vendemos en el mercado o bien viene un coyote a comprarlo para venderlo en El Mante. Tenemos rendimientos bajos de 45 t/ha por la variedad Co, falta de fertilizante y la sequía”.

“La rentabilidad es baja, solo 55 t/ha, y algunos productores de 0.5 a 1.5 ha, por la sequía y heladas solo obtienen 15 t/ha. La CNPR nos quita de \$5/t a \$8/t para meterla al ingenio, por lo que complementamos el ingreso sembrando maíz, frijol con la caña y trabajando de jornaleros con otros cañeros que tienen mayor superficie sembrada. La caña se mantiene por el IMSS. Algunos productores tienen trapiches viejos; en el Naranja existen 65; cuando la productividad es baja y no compra la caña el ingenio hacen piloncillo de octubre a enero y lo venden a los coyotes por la temporada de fin de año cuando hay mas demanda principalmente en El Mante y Cd. Valles, o bien siembran frijol ocasionalmente. Otros productores de 2 a 3 ha, sobre todo los más alejados al ingenio, han sembrado en sus pequeños predios algunos frutales como litchi en terrenos de lomeríos y pitahaya en los pedregosos pero son proyectos a largo plazo. Siembran 1 o 2 ha para el ingenio por el IMSS y lo demás cultivan maíz o frijol para mantenerse”.

“La mayoría de los productores CNC desconoce qué se puede obtener de la caña; lo del etanol se menciona pero no existe una planta productora. No obtenemos actualmente utilidades de los residuos que saca el ingenio. Como pequeños productores no tenemos opción mas que cultivar caña por el IMSS y porque los otros cultivos no tienen precio de garantía. Como pequeños productores necesitaríamos tener rendimientos cercanos a 100 t/ha para vivir de la caña sin embargo, solo producimos 50 t/ha en las 4 ha que tenemos debido a las sequías constantes, por lo que, para completar el ingreso nos contratamos como jornaleros. El papel de la CNC sólo es para meter la caña al ingenio. No recibimos apoyos del ingenio ni del gobierno”.

Grupo 3: Mediano productor cañero afiliado a la CNPR o CNC con orientación hacia el monocultivo, con un buen nivel de capitalización y capacitación importante recibida por la organización cañera o el ingenio. La superficie cultivada con caña oscila entre cinco y diez hectáreas en ciclo soca y resoca, en régimen de temporal y con rendimientos entre 55 y 65 t/ha (rentabilidad media); se dispone de tractor e implementos agrícolas y, en algunos casos, de alzadora propia o de la organización cañera. Tiene nivel educativo de secundaria y bachillerato incompleto o terminado. Las variedades que emplea son CP 72 20-86 y Mex 68 P 23 y sólo algunos productores venden sus cañas quedadas a los trapiches o para el ganado.

“Producir caña es la opción más rentable en la zona a partir de 3 ha. La diversificación no es considerada porque el ingenio sólo paga por la caña, y los subproductos como la paja son quemados porque nadie compra o usa la paja”.

“La caña es rentable en ciclo planta y soca porque produce hasta 80 t/ha dependiendo de las lluvias, a pesar que el ingenio no da insumos y las organizaciones cañeras poco hacen para conseguir fertilizante; sin embargo, la caña tiene mercado seguro, y sembrar otra cosa, como hortalizas, es mas riesgoso, por lo que la caña es mejor”.

“La rentabilidad de la caña depende del clima y de las lluvias, en 5.5 ha y productividad de 80 t/ha en soca, se cultiva caña porque tiene un mercado seguro y la que queda se usa para piloncillo o para el ganado. En resoca se obtiene una rentabilidad media con 70 t/ha, no se reciben apoyos de los líderes; estos solo sirven para meter la caña al ingenio. De la diversificación no sabemos. Lo que quisiéramos es un mejor precio para la caña y luego veremos lo de los derivados”.

“La rentabilidad para esta superficie es media; para tener buenas ganancias se requieren por lo menos 10 ha, con riego de preferencia, y ser propietario para obtener por lo menos 85 t/ha; con 8 ha y en temporal con variedades CP 722086, RD 75-11 y Mex 79 431 se obtienen de 60 a 75 t/ha. Pero además afecta la mosca pinta, el barrenador y la langosta, el fertilizante es caro y los demás insumos. Además, los líderes cañeros descuentan \$ 5.6 /t de caña para poder meterla al ingenio en complicidad con el comisariado ejidal. La caña se sigue cultivando para ganar algo seguro y por el IMSS. Los proyectos de diversificación no se hacen; algunos productores siembran, en ciclo planta, calabaza, frijol y algo de maíz; pero después, por la quema de caña, ya no le siguen. Cuando van a voltear las cepas e incorporar la semilla queda mucha paja que bien podría usarse para el ganado, pero prefieren quemarla porque los ganaderos no siempre la compran, por lo que se requieren proyectos de este tipo para saber qué hacer con la paja, así como de riego y otros cultivos alternativos y de estanques para peces pero sólo nos han visitado tesis de la Universidad Chapingo y no resuelven nada”.

“La caña es un cultivo resistente a las inclemencias del tiempo. Para ser rentable se requieren por 4 a 5 ha para 70 t/ha; sin embargo, la CNC no gestiona apoyos suficientes del gobierno o del ingenio para los productores. Las universidades no participan en la investigación; esta se lleva a cabo parcialmente solo con el ingenio en las áreas de suelos, variedades, control biológico y muestreos a través del comité de producción cañera. Las variedades empleadas en este ejido son Mex 69 290, SP 74 5203, CP 722086 y RD 75-11. En cuanto a proyectos de diversificación, existe ganadería, derivado de que hay poca migración durante la época de no zafra. En época de zafra, las áreas de cosecha verde se aprovechan para alimentar el ganado con la paja, así como en sequía debido a que la paja no se requema sino que se incorpora al suelo y la restante se da al ganado. Se ha buscado organizar a los productores para entrar a programas de otros cultivos sin embargo, sólo les interesa la caña porque los otros cultivos son más costosos y riesgosos. Sólo se siembra maíz y frijol”.

“En el Ejido Laguna del Mante se entregaba caña al Ingenio Plan de Ayala, y porque se tienen problemas con el pago nos cambiamos a entregar al San Miguel El Naranjo. En el cultivo se tienen cepas viejas y abunda el barrenador, por las sequías que hemos tenido en los últimos años a pesar de que se tiene la ventaja en algunas zonas de tener riego. Sin embargo, los productores de caña no son dependientes al 100 % de los ingresos cañeros, a pesar que los rendimientos son bajos, de alrededor de 50 t/ha. A excepción de los minifundistas de 2 y 3 ha o menos que tienen caña sólo por el seguro social y la jubilación, para la mayoría de los cañeros que posee por arriba de 10 ha si es rentable, por lo menos para vivir. Algunos productores combinan ganadería, cítricos y algo de forestales. A nosotros, las universidades no nos visitan para dar asesoría o alguna orientación en el cultivo; sólo han subido a la reserva o a la presa. En cuanto a la diversificación, se espera que el etanol venga a impulsar la agroindustria y los ingresos de los cañeros”.

Grupo 4: Productor establecido, gran productor o empresario propietario de su unidad productiva (mas de 10 hectáreas con rendimientos mayores a 65 t/ha en alta rentabilidad). Su nivel educativo es alto, mínimo bachillerato e ingeniería. Orientado a actividades de monocultivo de caña de azúcar con posibilidades de expansión a otros cultivos o actividades como tiendas de abarrotes, agroquímicos, renta de camiones cañeros, turismo, etc., como fuentes de ingresos extra al cultivo de caña. dispone de maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras y/o alzadora de caña) y sistemas de riego.

Las variedades que emplea son Mex 79-431, Sp 74-5203, CP 72 20-86, y Mex 68 P 23 en ciclo planta y soca y en menor proporción resocas; es decir, el paquete tecnológico se aplica en su totalidad, emplean permanentemente mano de obra asalariada con capacidad para tomar decisiones en el marco de la CNPR, principalmente, y en otras organizaciones cañeras como líder y recibir beneficios de estas organizaciones (crédito). Representa una minoría en el campo.

“Para los productores de más de 15 ha es negocio la producción de caña. Con riego es posible obtener hasta 100 t/ha. Si existiesen fabricas de etanol podríamos venderles caña, pero no está claro si en el futuro se establecerán estos negocios. Por ahora, el precio de liquidación de \$ 700.00 motiva a continuar sembrando la caña; sin embargo, debe haber agua suficiente ya que este es el factor limitante para poder iniciar otros proyectos”.

“La caña es rentable con riego; la principal limitante es la sequía. En el predio se obtienen en ciclo planta 140 t/ha con RD75-11 pero esta productividad disminuye hasta 60 t/ha en resoca 5 en adelante o con el ataque del carbón. En cosecha verde se recoge la paja y se le da al ganado, combinandola con alfalfa o caña quedada picada. La CNC sólo sirve para negociar la entrega de caña al ingenio, pero nos quitan de 3 a 5 pesos por tonelada”.

“La caña en El Meco, en 85 ha, tiene una productividad de 50 a 85 t/ha (según temporal). Es un cultivo aguantador, a pesar de la sequía. Tiene buen precio y es rentable; tenemos la certeza de compra por el ingenio y el IMSS. La CNPR garantiza la compra de la caña y la logística de la cosecha. Otros problemas son superficies irregulares y no hay riego. La diversificación no es una alternativa a considerar bajo un buen precio de la caña”.

“La caña de azúcar, con 80 ha es más rentable que el cambio a cultivos como maíz o sorgo, a pesar de las sequías, las plagas y la heladas; tiene un mercado seguro y, con riego, la productividad es muy alta, debido al incremento en los rendimientos y a la posibilidad de realizar volteos cada 5 o 6 años produciendo uno mismo la semilla. Si se tiene cosechadoras la paja se le vende a los ganaderos de la región o se usa para acolchado de los campos; sin embargo, faltan análisis de variabilidad de los suelos en todos los predios chicos y grandes, manejo de residuos para caña de temporal, combate de malezas y aun aspectos legales derivados de la competencia de las zonas de abasto. En la zona, otros productores están cambiando a caña debido al buen precio que tiene actualmente (\$ 700.00/t). Los líderes no han impulsado proyectos de diversificación, los que existen son iniciativas personales motivadas por la necesidad de deshacerse de los subproductos como la paja”.

“En 40 ha combino algo de ganadería para venta de terneros de 150 kg, y para producir quesos con una zona de leguminosas, cultivo caña de azúcar variedad Mex 68-P-23 con 45 t/ha en resoca 7 para entregar al ingenio y mojarra tilapia en un estanque. La producción de caña no es rentable teniendo pocas hectáreas o bajos rendimientos, como en mi caso, pero en este predio se tienen 8 ha que son para algo de ingreso, mis animales, el seguro, jubilación, y herencia de mis 4 hijos que están de jornaleros en Estados Unidos. La agroforestería que tengo y la caña para alimento que consiste en el enriquecimiento proteico de la caña de azúcar o caña enriquecida o Sacharina seca moliendo la caña con la leguminosa que se cosecha o con melaza y urea para las vaquitas, con buenos resultados. Los productores no quieren incursionar en estos proyectos porque no son innovadores ni aprovechan los apoyos del gobierno, he ido a Colombia y esta tecnología la copié de ellos, la diversificación depende de la voluntad del productor y del conocimiento que se tenga de lo que se puede hacer con la caña sin dejar de entregar caña al ingenio para el seguro. Los líderes no han resultado bien como negociadores con los ingenios. Por cada tonelada de caña pagamos una cuota, pero no vemos resultados; tenemos tres zafras una sin pago total y dos parciales. Con el comisariado ejidal hemos tenido más apoyo al entregarnos fertilizante”.

“En el Naranjo, con 140 ha, se tiene una productividad de 120 t/ha; de mis hectáreas yo tengo 80 ha bajo riego por goteo, mecanización total y volteo de cepas cada cinco años. La caña es rentable por la superficie, el rendimiento, ser propietario y tener un mercado seguro; sin , se debe trabajar más con investigadores para subir la productividad. A los grandes productores el ingenio nos apoya más que a los

chicos; en cuanto a la diversificación, bajo las condiciones del precio de liquidación el etanol no sería rentable. La paja de la cosecha se usa para acolchado de los campos”.

“En esta zona (Ejido las Flores) se siembra la variedad CP 722086, la cual tiene una productividad de 45 a 80 t/ha en predios que van de 5 a 100 ha cuya rentabilidad es buena. Sólo se siembra caña debido a que se tiene un mercado seguro y las actividades cañeras no permiten otro cultivo. Actualmente se siguen desmontando nuevas áreas para sembrar mas caña motivado por el precio de liquidación y porque el ingenio se está expandiendo a nuevas áreas derivado del incremento en la capacidad de producción del ingenio; sin embargo, las áreas con producción menor a 40 t/ha no son rentables. En estas áreas se han tratado de introducir otros cultivos como hortalizas, chile, tomatillo, cilantro, lechuga y forestales, pero el compromiso con el ingenio obliga a hacer acciones para sembrar sólo caña. La caña se cosecha en verde para incorporarla al suelo, pero se requiere capacitación e ingenieros de tiempo completo, los productores de mas de 100 ha se han retirado por la inseguridad”.

Al investigar los factores determinantes que Escobal (2004) define como de “atracción” o de “presión”, se determinó que existe una compleja red que da forma y estructura al concepto caña de azúcar. Para la mayoría de los investigadores que han tratado de plantear alternativas de diversificación, existe una efímera representación de los productores y hasta de los ingenios, lo cual se convierte en el principal contrasentido de las propuestas de desarrollo via la diversificación del sistema cañero, y constituye, sin duda, un eje de análisis multidisciplinario dada la complejidad y magnitud del problema. En este sentido, las variables regionales y espaciales adquieren una gran importancia la cual varía en función de las características socioeconómicas de los entrevistados; de tal manera que se encuentran diferencias significativas en la percepción, influenciadas por factores como el estrato socioeconómico, el nivel de educación y el tamaño y tipo de tenencia de la unidad productiva, mismas que no permiten generalizar.

El análisis de los productores establece que, necesariamente, entre los cañeros todavía persisten unidades productivas con escala insuficiente como para justificar el uso de maquinaria agrícola (cosechadoras, alzadoras, etc. La mayoría presenta formas de producción no capitalistas, es decir, basadas en el trabajo familiar. En el otro extremo, hay grandes unidades de perfil marcadamente capitalista que no sólo recurren al trabajo asalariado sino que son capaces de incorporar rápidamente los adelantos técnicos, fundamentalmente cosechadoras modernas, riego y fertilización.

En relación con las técnicas que se utilizan en la producción de caña de azúcar a nivel local, se observó que éstas son muy diversas y dependen, en la mayor parte de los casos, de la capacitación que se realice en el ingenio, así como de las recomendaciones que los investigadores y técnicos comerciales les hagan a los productores; así como a todos aquellos factores relacionados con los costos de producción, comercialización, financiamiento, grado de preparación académica de los productores, etc. Las técnicas que utilizan los productores en el proceso de producción, se basan generalmente en su experiencia, en recomendaciones por parte de los técnicos de campo del ingenio, y en los paquetes tecnológicos que les ofrecen las casas comerciales de productos agroquímicos (mediante parcelas demostrativas), así como la recomendación varietal de los investigadores de El Estribo.

Generalmente las decisiones de producción se realizan dentro del Comité de Producción Cañera del ingenio, donde, además de llevar una información estadística de las fechas de corte y de las labores propias del proceso productivo, cuentan con laboratorio químico de campo, el cual se encarga de hacer muestreos y determinaciones físicas y químicas para estimar la madurez de los tallos y, junto con los datos estadísticos mencionados, determinar las fechas de corte. En ocasiones, estas fechas son modificadas debido al comportamiento de las condiciones climatológicas.

En términos generales, los productores solo tienen un estrecho vínculo con el ingenio a través de los representantes de las organizaciones de productores (CNC, CNPR) para la entrega de caña y para recibir las recomendaciones para el manejo de predios cañeros. En relación a lo anterior, Milford (2002), ha demostrado que la comunicación entre los productores de caña y los ingenios azucareros es baja. En general, la necesidad de la comunicación interpersonal clara se vuelve crucial cuando se trata de establecer y mantener relaciones de largo plazo; esto es imprescindible en una zona de abasto cañero, a través de intercambios sociales que se entrelazan con las políticas económicas, y los procesos legales y de información.

Sin embargo, existe una serie de razones por las que los cañeros debían interesarse en los temas de fábrica, en la misma forma en que los ingenios azucareros deberían interesarse por la investigación agrícola. A los cañeros y a los investigadores agrícolas más que nada les interesa la variedad, el fertilizante, las prácticas de cultivo, el control de plagas y otros temas que afectan directamente al cultivo de la caña. Los ingenios tienen otra lista de prioridades relacionados con los tallos molederos y la operación del ingenio. Por parte de los productores, el grado de preparación académica es mínimo, dado que la mayor parte de ellos cuenta con estudios de primaria (en muchos casos no concluida) y en menor proporción de secundaria.

En lo que respecta al tema de agricultura de precisión, el tema es conocido mínimamente por el personal técnico del ingenio; sin embargo se tiene georeferenciado el campo cañero en su totalidad. En el caso de los productores, principalmente los de los grupos 3 y 4, saben del tema y/o han oído sobre el mismo; sin embargo, la mayoría no tienen los conocimientos, ni los elementos técnico-económicos para llevar cabo la aplicación de esta técnica. En general, los productores tienen poco acceso a la información sobre análisis de suelo, clima y SIG, y no cuentan regularmente con programas de capacitación que puedan ayudarles a tomar decisiones sobre su producción a pesar de que regularmente consultan información sobre datos climatológicos, humedad del suelo, y calendarios de siembra y cosecha, preparados por personal del ingenio y por las organizaciones campesinas.

En relación con la diversificación, la mayoría de los productores conoce el tema y tiene la intención de llevarla a cabo como un proceso de corto plazo; sin embargo, la decisión de diversificarse esta limitada a las características del productor y a los incentivos que tienen en su unidad productiva, debido a que la explotación del predio propio (ejidal o privado) sigue siendo la fuente de ingresos más importante para la mayoría de los cañeros.

Ellis (2000) concluyó que la necesidad como incentivo se refiere a razones involuntarias y a la desesperación; la elección, por lo contrario, se refiere a razones voluntarias y proactivas para diversificarse. Pero, en general, obedece a un proceso continuo donde las causas, motivaciones y limitaciones varían entre los productores en el tiempo. Factores como estacionalidad de la producción agropecuaria, riesgo, mercados de trabajo y crédito, activos, capital natural (tierra, agua, cultivos), capital físico (canales de riego, maquinaria agrícola, carreteras, electrificación), capital humano (educación, habilidades, salud); capital financiero o sus sustitutos y el capital social (redes, asociaciones), mediadas por las relaciones sociales y las instituciones, no son excluyentes entre sí como determinantes de la diversificación, sino que constituyen distintas superposiciones y procesos que conducen a la diversificación. Adicionalmente, los productores de El Naranjo vinculan a la diversificación con la incursión en actividades agropecuarias conocidas (trapiche, venta de caña a ganaderos, trabajo de jornal con productores cañeros de mayor tamaño y escala) (Figura 3.61).



Figura 3.61. Diversificación en la zona cañera de El Naranjo (piloncillo, sacharina, alimentación de ganado y cultivos intercalados).

De esta manera, la diversificación, como es entendida por los productores, es una estrategia para la gestión de los riesgos en la caída de la productividad cañera derivada de las características de la explotación cañera (tenencia de tierra, tamaño del predio, falta de fertilizantes, resocas, plagas etc), de un cultivo perenne que requiere dos años para mostrar su respuesta ante los cambios ocurridos en el mercado o frente a incentivos de la política agropecuaria.

El cultivo de caña de azúcar requiere, a partir de la siembra, aproximadamente dos años para empezar a producir y alcanzar su máximo de producción, para luego comenzar a decaer a partir del ciclo resaca. La vida de una plantación de caña de azúcar depende principalmente de las condiciones climatológicas, y puede alcanzar, un máximo de siete años o ciclos productivos; por otro lado, debido a que la caña de azúcar debe ser procesada dentro de 24 horas después del corte para maximizar la recuperación de sacarosa, se requiere una estrecha coordinación técnica entre el proceso de cosecha de caña y el proceso de industrialización en el ingenio o trapiche. Debido a este apremio del tiempo, los productores de caña de azúcar no pueden vender sus cosechas al mejor postor, y los ingenios azucareros no pueden comprar materia prima de acuerdo a la mejor oferta en el libre mercado, sin reducir la calidad de la caña. Los altos costos de operación de la fábrica y el imperativo de que la caña se debe moler con el máximo contenido de sacarosa, son factores adicionales que requieren una cuidadosa planificación y coordinación entre productores, organizaciones cañeras y el ingenio para garantizar la plena utilización de la capacidad de molienda.

Es decir, la baja productividad de los agricultores de caña de azúcar en pequeña escala no sólo afecta su propia rentabilidad y sostenibilidad, sino la de los ingenios azucareros a los que abastecen; así, el incentivo más importante para la diversificación es el incremento en el rendimiento de campo para cubrir el contrato con el ingenio y tener excedentes que puedan emplearse en otros procesos de producción regionales donde el productor tenga experiencia o representen un mercado atractivo; entonces, los determinantes de la diversificación de ingresos en la zona de El Naranjo están basados en que la caña de azúcar podría verse desde una perspectiva de incentivos y de las capacidades o recursos de los productores para responder a los mismos. Como señala Sumner (1986), los productores asignan sus recursos y atención a las actividades que les generan mayor rendimiento.

Valencia (2009); Gallardo-López *et al.* (2002) y Pérez y Navarro, (1996). concluyeron que la actividad agropecuaria está relacionada con la tenencia de tierra y el tamaño de la unidad productiva (como recurso). Por lo tanto, los productores que no son propietarios de su unidad productiva (ejidatarios) no estarán dispuestos a desarrollar infraestructura en tierras que no son propias y no pueden ser motivados a diversificarse de la misma forma que si la unidad productiva fuera propiedad privada

Singelmann, (1996) concluyó que las oportunidades de acumular capital para los campesinos con pequeños lotes son limitadas ya que necesitan utilizar prácticamente toda la superficie para explotación inmediata en un cultivo agroindustrial (dinamizador económico), es uno de los factores que determinan porque los campesinos se aferran a la producción de caña de azúcar a pesar de los bajos rendimientos

Los resultados de las entrevistas revelaron una preferencia de los productores por las nuevas actividades agroindustriales como la ganadería y el piloncillo (diversificación relacionada), en lugar de las actividades no agrícolas (empleo asalariado no agrícola, pequeño comercio, la manufactura de artesanías, servicios turísticos y la reparación y alquiler de maquinaria); estas opciones de diversificación también revelan una serie de diferencias a nivel regional y que existen otros factores (capacidades como la

educación y el conocimiento necesario para incorporar tecnologías mejoradas a la producción de cultivos comerciales, la crianza de ganado, y los productos y servicios no agrícolas). La diversificación no relacionada (nuevas empresas como una etanolera) fue percibida como una opción que podría ser viable en el largo plazo, pero no en el corto o mediano plazo.

En general, para todos los grupos de productores de caña el interés por la diversificación sigue siendo relativamente bajo.

Windle y Rolfe (2005), en un análisis de las tendencias de diversificación de cañeros en Australia, concluyeron que las razones por las cuales los productores estarían dispuestos a diversificar su producción son los márgenes de ganancia y la percepción del riesgo. Sin embargo, el estudio demostró que en realidad los cañeros no tienen mucho interés en diversificar su producción, no obstante los bajos precios de la industria, con la esperanza de que las condiciones del mercado mejoren. Esto indicaría que, si bien otros factores pueden estar influyendo en las decisiones de los productores, la maximización de beneficios es un elemento clave en la decisión de diversificarse.

Para Padilla-Fernandez (2001), factores como el tamaño, grado de fragmentación y tipo de tenencia de la unidad productiva, disponibilidad de crédito y de servicios de extensión y capacitación explican las causas de la baja productividad y diversificación en cultivos agroindustriales tipo plantación, además del valor de los activos agrícolas. Su análisis sugiere que los agricultores más jóvenes con acceso al crédito, más educación y mayores activos tienen más probabilidades de funcionar de manera eficiente. Los resultados presentados por el autor indican claramente la influencia del desarrollo social y los factores de capital humano (edad, escolaridad, capacitación y asistencia técnica, infraestructura, etc.) en el comportamiento de la diversificación de la agricultura de plantaciones. Por lo tanto, sugiere que la tenencia de la tierra *"es la variable más importante para explicar diferencias en los objetivos y las actitudes de los agricultores, la toma de decisiones y por lo tanto su producción"*. Por lo tanto, si los factores para la diversificación de la unidad productiva son favorables, el agricultor podrá optar por ella

Los resultados de este estudio y lo expuesto por los actores de la agroindustria, resaltan la importancia de las diferencias regionales en la industria azucarera y confirman que un enfoque regional es necesario para abordar los problemas actuales en la agroindustria azucarera (Hildebrand, 2002):

"Los productores se preocupan por su liquidación, no piensan en otros cultivos, y mucho menos en que el ingenio se diversifique. El campo ya no es rentable, solo el 15 %, de más de 2000 productores, tiene riego y está abandonado por el ingenio; y además, la falta de pago y avios, diesel caro y refacciones, se tienen rendimientos de 35 t/ha y antes se obtenían con riego hasta 120 t/ha; así los productores se mantiene la espera de mejores condiciones y también por conservar el seguro social y la jubilación y además, porque es un cultivo que aunque no se le eche nada, aguanta, y porque algunos se han vuelto al mismo tiempo ganaderos; sin embargo, también es un negocio en crisis. Para pensar en la diversificación necesitamos ingresos, y primero es necesario tener caña suficiente" (Lider cañero CNC Cd. Valles).

“En esta zona productora, el ingenio ha motivado a los productores a continuar produciendo caña ya que pagan a tiempo e, incluso, el precio de liquidación se incrementó en la última zafra a \$ 700.00/t; sin embargo, tenemos bajos rendimientos de alrededor de 55 t/ha debido a que no hay investigaciones cañeras para fertilización, corte en verde, compostas, plagas, necesitamos análisis de suelos y en diversificación, pero la UASLP nunca se ha acercado a nosotros, los pocos trabajos lo hemos hecho con la Universidad de Tamaulipas y la de Chapingo. Para la diversificación, la mayoría de los productores piensa que el etanol haría que la caña valga más pero ni ven claro” (Lider cañero CNC El Naranjo).”

“La zona cañera cañera de El Naranjo es ideal para el cultivo; sin embargo, debido a los rendimientos promedio alcanzados (60 t/ha) solo es rentable teniendo arriba de 6 ha (para Cd. Valles y Tamasopo es arriba de 10 ha) y algunos ingresos alternos como negocios, camiones y renta de maquinaria, otros cultivos, que generen un ingreso diario. La agroindustria en la Huasteca presenta problemas serios de inseguridad que, junto a la vulnerabilidad climática, ponen en riesgo la productividad. Si bien el gobierno ha apoyado la agroindustria, ha faltado capacitación dirigida y estimular el deseo de superación de los cañeros; en este sentido, la diversificación está limitada a la capacidad mental y económica de los productores. El ingenio produciría otros productos para disminuir costos de producción pero su negocio es producir solo azúcar” (Productor líder El Naranjo).

“En esta zona, en 40 ha se combina caña con riego procedente del río y de los estanques de tilapia para obtener hasta 147 t/ha, a pesar que es resoca1 variedad Mex 79-431 y Mex 68-1345; se tiene, además, chivos, gallinas y una palapa para fiestas campestres. Sólo teniendo otros ingresos, riego y más de 10 ha se puede decir que el cultivo de caña es rentable. Los productores no conocen aspectos técnicos de la diversificación; solo son productores de materia prima para los ingenios azucareros; si un ingenio no la compra se la venden a otro. No van a abandonar el cultivo, a pesar de que los rendimientos vienen a la baja, debido a que la mayoría de ellos son mayores de 50 años y la caña les da seguro social y su jubilación. Si bien es cierto que los líderes y la SEDARH les han hablado que el etanol viene, pero es una promesa más. Se dice que van a instalar una planta en Ebano; sin embargo para que la caña crezca en esa zona se necesita riego” (Productor Líder Tamuin S.L.P.).”

“En el Ejido las variedades que predominan son ZMex 55-32, Mex 68 P 23, Mex 57-473, CP 72-2086, SP 70-1284, con una productividad alta de 100 a 90 ton/ ha (5 ha por productor en promedio) en las zonas de riego, y por debajo de 30 t/ha en resocas y temporal, sin que el Ingenio tenga programas de reemplazo o de apoyo económico. Sin embargo, a pesar de que no hay caña suficiente para la molienda, lo que hace que la caña cada vez venga de predios más lejano, no quiere aceptar la variedad de tipo SP por su alto contenido de fibra. A pesar de esta problemática, el cultivo es rentable siempre y cuanto se tenga riego, sin embargo, en relación a los aspectos socioeconómicos, las organizaciones cañeras, tanto CNC y CNPR, cobran \$5-6/tonelada de caña a los productores, sin que hagan su labor de negociadores aprovechando que la mentalidad del cañero es sólo a la producción de caña, y no buscará otras alternativas más que seguir vendiendo la caña al ingenio; es decir, el cambiar de cultivo tampoco es posible porque no quieren arriesgarse debido a que la caña, por poco que dé, tiene un mercado seguro en la zona de abasto de los Ingenios Santos, o bien se vende a Plan de San Luis o El Naranjo, principalmente para los que poseen menos de 5 ha y los líderes nacionales no han conseguido beneficios para el productor a pesar de llegar a la cámara de diputado” (Comisariado ejidal Maitines).

“Los cañeros adolecen de capacitación y asistencia técnica, principalmente porque los recursos que las organizaciones pudieran gestionar para programas de transferencia y adopción deben estar avalados por un bufete técnico y realizar un proyecto para financiamiento que los cañeros no saben hacer, y no existe vinculación con Universidades para incrementar los rendimientos, por lo que ante la falta de recursos para el fertilizante, el corte, flete, acarreo, nuevos sistemas de riego o el volteo de cepas ante la falta de riego y la sequía extrema, despoblación de cepas, suelos delgados, en laderas, rocosos, sin mecanización y trabajadores, opten por abandonar el cultivo, rentar o vender la tierra para las cabañas o emigrar a Estados Unidos. Sin embargo, la mayoría siguen siendo cañeros para conservar el seguro social, principalmente los productores de mayor edad” (comisariado ejidal Ocampo).

“En relación a la diversificación, en las organizaciones, o los mismos técnicos del ingenio, mencionan que el etanol va a incrementar el valor de la caña; sin embargo, el gobierno no da incentivos al industrial para diversificarse, el mismo productor debe pagar la cachaza residual del ingenio y el flete para aplicarla en los campos, y lo que hace ante los bajos rendimientos o ante la negativa de las liquidaciones del grupo Santos, el productor ha optado por dar caña al ganado o venderla a productores vecinos con pequeños trapiches” (líder cañero CNC Tamasopo).

En la zona cañera de El Naranjo hay varias razones para diversificar la unidad productiva. Un gran número de agricultores (grupos 1 y 2) complementa su sustento con el empleo asalariado agrícola y con actividades no agrícolas debido a que no tienen la tierra, el ganado o el capital suficiente, y la caña de azúcar no es un alimento básico de autoconsumo sino comercial, pero de supervivencia. Otros grupos (3 y 4), con la excepción de los derechos de propiedad de la tierra (ejidal, privada), cuentan con educación, aptitudes, crédito, acceso a infraestructura de riego, experiencia en proyectos de diversificación como el trapiche y sus productos (piloncillo, melado, jugo de caña) o la alimentación de ganado y otros rubros que les permiten desempeñar un empleo asalariado no agrícola (como la fabricación de artesanías, la reparación y alquiler de equipo agrícola, y el comercio). Muchas de esas actividades no agrícolas están vinculadas indirectamente con el sector cañero, y a ello obedece que se encuentren niveles tan elevados de participación en el sector no agrícola en las zonas agrícolas más dinámicas de este grupo de productores.

3.11. Diversificación en Ingenios azucareros

Los ingenios azucareros en México, se encuentran entre las empresas más antiguas de la rama de producción de alimentos. Donde hay empresas que tienen una antigüedad cercana a los cien años, se mezclan aspectos de negociación laboral, elementos de cultura productiva y énfasis de inversión –principalmente en tecnología– que han complicado el tema de la diversificación productiva. Si se miran comparativamente, se verá que han buscado y practican diferentes caminos para transformar la capacidad productiva, calidad, dinámica de innovación, buenas prácticas de manufactura y métodos de trabajo, gestión del factor humano y minimización de costos. Componentes centrales que, se espera, aporten los resultados de rentabilidad esperados, y que no sólo afectan a la modernización de la agroindustria azucarera sino también a la competitividad, en todos los niveles, de este tipo de empresas (Derya *et al.* (2002)

Las variables empleadas para ingenios azucareros, de acuerdo con los estándares internacionales de competitividad para la industria azucarera, corresponden a la Organización Internacional del Azúcar (Cuadro 3.45) y fueron obtenidas para México de las bases de datos de la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA 2010), el Manual Azucarero Mexicano 2010 y los reportes de producción de la Confederación Nacional de Propietarios Cañeros para la zafra 2009/2010 (CNPR, 2011).

Cuadro 3.45. Variables para la diversificación de ingenios azucareros (Ahumada, 2009; ISO, 2005)

Variable/Potencial	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 y problemas técnicos y con el personal de planta) (%)	<10	10-15	15-20	>20
Calidad de caña (% sacarosa y % fibra)	>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

Estas variables proporcionan *a priori* información acerca de la capacidad de diversificación del sector; se pueden considerar en conjunto, como índices óptimos para análisis comparativos y son el único conjunto de datos coherentes, disponibles actualmente a nivel internacional, para investigaciones de la dinámica del sector. Además, permiten ponderar la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores que entran en juego en el análisis del proceso diversificador al considerar la tecnología del ingenio, la calidad de la materia prima y los balances energéticos (Perea Quezada, 2010; Trujillo, 2005; Zimmermann, 2002; LMC, 2003; Banerjee, 2004; ISO, 2005).

El procedimiento de ponderación y comparación de dichos factores entre sí se llevó a cabo utilizando el método de evaluación multicriterio desarrollado por Saaty (1977) (Díaz, 2000). En el Cuadro 3.46 se presenta la matriz de comparación y los pesos obtenidos a partir de la evaluación con la técnica multicriterio aplicada en el módulo AHP de ArcGis 9.2 para ingenios azucareros.

Cuadro 3.46. Matriz de ponderación de variables para la diversificación de ingenios azucareros

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

Las variables: rendimiento de fábrica y bienes producidos de la caña de azúcar (azúcar estándar, mascabado, refinado, etanol, composta y otros) son las que se consideran más relevantes en la capacidad para diversificar la producción en los ingenios azucareros. De este modo se generan los "pesos" para cada factor a partir de una matriz de comparaciones por pares. El resultado es el que se observa al resolver la matriz del Cuadro 3.47.

Cuadro 3.47. Pesos de las variables de diversificación de ingenios azucareros (Nivel de inconsistencia: 0.06)

Variables limitantes a la diversificación del ingenio	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 de electricidad externo (CFE) kWh/t. caña	0.027
Consumo de combustible externo (PEMEX) L petróleo/t. caña	0.025
Suma	1.000

Por lo tanto, las variables: rendimiento de fábrica (%) junto a número de bienes producidos de la caña de azúcar en el ingenio "X" presenta una ponderación mayor que las restantes en forma conjunta, ya que significan una mayor capacidad para manejar y transformar la materia prima en sacarosa, disponer subproductos (melaza, bagazo, cachazas, cenizas, vinazas) con fines energéticos, y generar otros productos (cogeneración, etanol, compostas, refinado, mascabado, orgánico, etc); igualmente suponen la existencia de instalaciones y el conocimiento técnico y experiencia en la producción de derivados de la caña dentro del ingenio azucarero y el conocimiento de la demanda de los mercados correspondientes. Les siguen en ponderación calidad de caña, eficiencia de fábrica y tiempos perdidos, en donde la importancia de estas variables viene dada 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 y su productividad intrínseca y en segundo lugar, con la eficiencia de fábrica el grado de tecnificación y/o obsolescencia de los equipos de proceso deriva de las variables restantes: consumo de electricidad externo y consumo de combustible externo; ambas variables reflejan la independencia y, por lo tanto, la diversificación energética del ingenio en relación con la utilización de combustibles externos.

Al ponderar cada uno de las variables, de acuerdo con los valores referidos se obtuvo el instrumento de evaluación de ingenios azucareros (Cuadro 3.48) el cual permitió ponderar su capacidad (alta, media, baja y muy baja) para diversificar la producción azucarera y obtener así una calificación por ingenio (Cuadro 3.49) y un mapa de salida de su ubicación espacial (Figura 3.62).

Cuadro 3.48. Nivel y peso de variables para ponderar ingenios azucareros (Índice de diversificación)

Ingenio:		Grupo:				Zafra:	
Variables de diversificación del ingenio	Unidad	Puntos				Peso	Peso Final
		Alta (1)	Media (0.75)	Baja (0.50)	Muy Baja (0.25)		
Rendimiento de fábrica	%	>12	12-11.5	11.5-10.5	<10.5	0.332	
		0.332	0.249	0.166	0.083		
Eficiencia	%	>85	85-83	83-80	<80	0.092	
		0.092	0.069	0.046	0.023		
Tiempos perdidos	%	<10	10-15	15-20	>20	0.077	
		0.077	0.05775	0.0385	0.01925		
Calidad de caña	% sacarosa	>14.5	14.5-13.5	13.5-12.5	<12.5	0.121	
		0.121	0.09075	0.0605	0.03025		
Consumo de Electricidad CFE	kWh/t caña	0	0-0.5	0.5-1	>1	0.027	
		0.027	0.02025	0.0135	0.00675		
Consumo de Combustóleo PEMEX	L petróleo/t caña	0	0-2	2-5	>5	0.025	
		0.025	0.01875	0.0125	0.00625		
Bienes producidos (estándar, mascabado, refinado, etanol, composta y otros)	#	>4	3	2	1	0.327	
		0.327	0.24525	0.1635	0.08175		

Cuadro 3.49. Índice de diversificación de ingenios azucareros (capacidad para diversificar su producción) (1=Alta capacidad, 0=nula)

ALTA		MEDIA		BAJA		MUY BAJA	
Ingenio	Ponderación	Ingenio	Ponderación	Ingenio	Ponderación	ingenio	Ponderación
CONSTANCIA	0.92	A. LÓPEZ MATEOS	0.69	SANTA ROSALÍA	0.64	EL HIGO	0.56
MOTZORONGO	0.90	PUGA	0.68	AMECA	0.64	SANTA CLARA	0.56
ATENCINGO	0.88	PABLO MACHADO	0.67	J. MARÍA MORELOS	0.64	ALIANZA POPULAR	0.54
LA GLORIA	0.86	CASASANO	0.66	EL MODELO	0.63	ZAPOAPITA	0.54
PUJILTIĆ	0.83	MAHUIXTLÁN	0.66	TALA	0.62	BENITO JUÁREZ	0.48
MELCHOR OCAMPO	0.83	QUESERÍA	0.66	PLAN DE SAN LUIS	0.62	SAN RAFAEL	0.44
SAN MIGUEL DEL NARANJO	0.83	PEDERNALES	0.66	BELLAVISTA	0.61	SAN MIGUELITO	0.43
TAMAZULA	0.74			LA PROVIDENCIA	0.61	CUATOTOLAPAM	0.41
EL POTRERO	0.74			LÁZARO CÁRDENAS	0.60	HUIXTLA	0.40
SAN JOSÉ DE ABAJO	0.73			EL MANTE	0.58	LA JOYA	0.39
CENTRAL PROGRESO	0.73					PLAN DE AYALA	0.38
TRES VALLES	0.72					EL CARMEN	0.37
AARÓN SAÉNZ GARZA	0.71					ELDORADO	0.37
SAN NICOLÁS	0.71					LA PRIMAVERA	0.36
EL MOLINO	0.71					SAN CRISTÓBAL	0.35
EMILIANO ZAPATA	0.71					AZSUREMEX	0.33
EL REFUGIO	0.70					CALIPAM	0.32
						SAN PEDRO	0.32
						LOS MOCHIS	0.30
						SAN FRANCISCO	0.29
						SAN GABRIEL	0.27
						INDEPENDENCIA	0.26
						LA CONCEPCIÓN	0.24

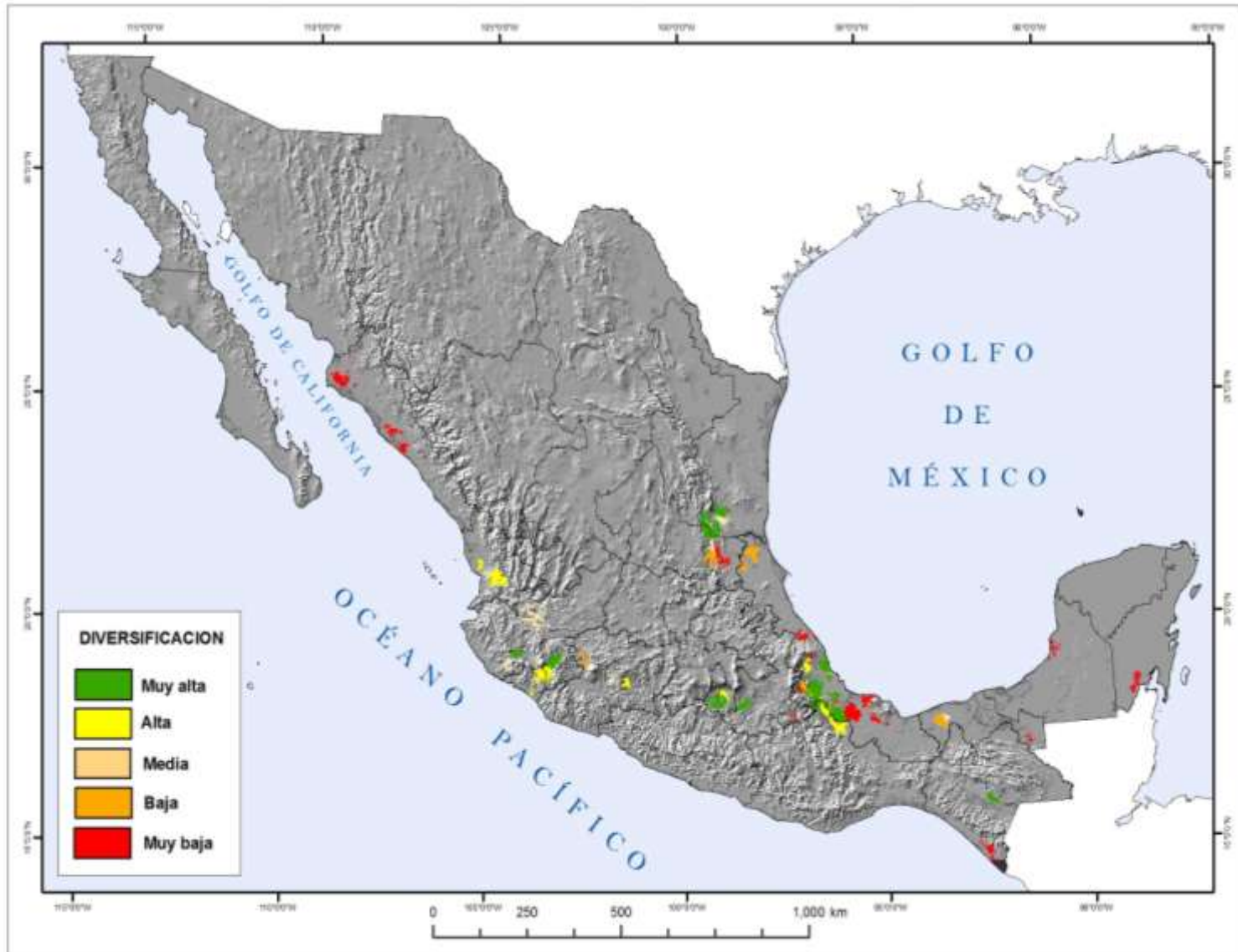


Figura 3.62. Ubicación espacial de los ingenios azucareros por nivel de capacidad para diversificar la producción base (azúcar estándar)(índice de diversificación)

La presencia de resultados marcados como altos en $IC < 0.1$ manifiesta la presencia de variables independientes suficientes para explicar la variable dependiente capacidad para diversificar la agroindustria azucarera. El método empleado permitió, en primer lugar, generar una medida o parámetro sintético a través del agrupamiento de indicadores o variables internas y externas, aspecto que constituye una ventaja ya que disminuye notablemente la cantidad de datos a analizar; y, en segundo lugar, el parámetro que surge no es una simple agregación de indicadores, sino que pondera a cada uno de ellos de acuerdo con la importancia relativa de los mismos en la variable dependiente (capacidad para diversificar la producción de sacarosa en ingenios azucareros y producción cañera en municipios) que se estudió. Así, con ayuda del software de sistemas de información geográfica (SIG), permitió ubicar espacialmente estos ingenios y/o municipios lo que permitirá *a priori* llevar a cabo decisiones diversificativas a mediano plazo.

El análisis estableció que el 42 % de los ingenios (24) tiene de media a alta capacidad para diversificar su producción básica (azúcar estándar) hacia otros derivados de la caña, y el resto 58 % (33) no tienen esa capacidad, bien sea por problemas de ineficiencia, obsolescencia o inexperiencia en proyectos de diversificación y que se caracterizan por tener una estructura monoproducción. De los cuales solamente 8 presentan capacidad para diversificarse y cuentan con un campo productivo (Atencingo, La Gloria, Pujilic, Melchor Ocampo, San Miguel del Naranjo, Tamazula, Aaron Saenz y Emiliano Zapata) que podrían llevar a cabo de forma inmediata acciones diversificativas por los motivos ya expuestos en este trabajo.

Menguzzato y Renau (1991) consideran que una empresa no deberá diversificarse en una actividad donde no posea, por lo menos, alguna de las competencias exigidas por esa nueva actividad. Esta explicación justificaría la superioridad de la estrategia de diversificación relacionada sobre la no relacionada;—en el primer caso, es posible que negocios con características similares puedan compartir ese tipo de recursos; por lo tanto, para los ingenios con mayor ponderación como industria azucarera, la entrada en negocios relacionados con el negocio de partida de la empresa (azúcar) contribuiría en mayor medida a reducir el riesgo empresarial por las mayores sinergias que surgirían y porque la empresa posee parte de los recursos y domina parte de las competencias necesarias para lograr un buen funcionamiento en los nuevos negocios (Cuadro 3.50).

ALTA				MEDIA				BAJA				MUY BAJA			
Ingenio	Valor	Municipio	Valor	Ingenio	Valor	Municipio	Valor	Ingenio	Valor	Municipio	Valor	Ingenio	Valor	Municipio	Valor
Constancia	0.92	Tezonapa	0.496	A. López M.	0.69	Tuxtepec	0.576	S. Rosalía	0.64	Cárdenas	0.356	El Higo	0.56	El Higo	0.771
Motzorongo	0.90	Tezonapa	0.496	Puga	0.68	Tepic	0.599	Ameca	0.64	Ameca	0.830	S. Clara	0.56	Tocumbo	0.813
Atencingo	0.88	Chietla	0.706	La Margarita	0.67	Acatlán	0.560	J. M. Morelos	0.64	C. Castillo	0.569	A. Popular	0.54	Tamasopo	0.479
La Gloria	0.86	U. Galván	0.830	Casasano	0.66	Cuautla	0.742	El Modelo	0.63	La Antigua	0.731	Zapoapita	0.54	Panuco	0.819
Pujilic	0.83	V. Carranza	0.782	Mahuixtlán	0.66	Coatepec	0.837	Tala	0.62	Tala	0.750	B. Juárez	0.48	Cárdenas	0.356
M. Ocampo	0.83	Autlan	0.850	Quesería	0.66	Cuauhtémoc	0.675	P. San Luis	0.62	C. Valles	0.381	San Rafael	0.44	Othon P. Blanco	0.558
San Miguel	0.83	El Naranjo	0.444	Pedernales	0.66	Tacambaro	0.830	Bellavista	0.61	Acatlán	0.716	San Miguelito	0.43	Córdoba	0.561
Tamazula	0.74	Tamazula	0.827					Providencia	0.61	Cuichapa	0.635	Cuatotolapam	0.41	Hueyapan	0.500
El Potrero	0.74	Atoyac	0.533					L. Cárdenas	0.60	Taretán	0.706	Huixtla	0.40	Huixtla	0.671
San José	0.73	Cuiclahuac	0.619					El Mante	0.58	El Mante	0.858	La Joya	0.39	Champotón	0.367
C. Progreso	0.73	P. del Macho	0.483									Plan de Ayala	0.38	Ciudad Valles	0.381
Tres Valles	0.72	Tres Valles	0.530									El Carmen	0.37	Ixtaczoquitlan	0.464
A. Saézn G.	0.71	Xicoténcatl	0.858									Eldorado	0.37	Culiacán	0.949
San Nicolás	0.71	Cuichapa	0.635									La Primavera	0.36	Navolato	0.806
El Molino	0.71	Tepic	0.599									San Cristóbal	0.35	Carlos A. Carrillo	0.381
E. Zapata	0.71	Zacatepec	0.830									Azuremex	0.33	Tenosique	0.530
El Refugio	0.70	Cosolapa	0.505									Calipam	0.32	Coxcatlán	0.750
												San Pedro	0.32	Lerdo de Tejada	0.619
												Los Mochis	0.30	Ahome	0.547
												San Francisco	0.29	Lerdo de Tejada	0.619
												San Gabriel	0.27	Cosamaloapan	0.461
												Independencia	0.26	M. de la Torre	0.376
												La Concepción	0.24	Naolinco	0.530

Cuadro 3.50. Índice de diversificación de ingenios y zonas de abasto

3.12. Conclusiones

Para la zona Huasteca y en particular para la zona cañera del ingenio analizado se establece que los agricultores producen caña para conservar el servicio médico y jubilación (IMSS) y porque presenta un mercado seguro. Sin embargo, ya poseen un conocimiento de diversas estrategias de diversificación como vía de supervivencia ante la caída de la productividad cañera, tamaño del predio o minifundio y la tenencia de tierras (factores limitantes identificados como resultado de este estudio) es decir, actividades agropecuarias conocidas como la continuidad del uso del trapiche (piloncillo, meladura, jugo de caña) y la alimentación pecuaria (punta, cogollo, cañas quedadas) y así la diversificación se asocia con lotes de costos altos que no tienen capacidad para aprovechar las ventajas comparativas (aptitud agroclimática) y las que se derivan de la producción en masa y operan, por lo tanto, con rendimientos decrecientes en sus funciones de producción por debajo de la frontera de eficiencia.

Así el incentivo más importante para la diversificación es el rendimiento de campo y los ingresos derivados de este, que logren cubrir el contrato con el ingenio y tener excedentes que podrían emplearse en otras producciones regionales donde el productor tenga experiencia o un mercado; así como la tenencia de tierra y el tamaño de la unidad productiva (como recurso) entonces los determinantes de la diversificación de ingresos en las zonas cañeras están basados en que la caña de azúcar podría verse desde una perspectiva de incentivos y las capacidades o recursos de los productores para responder a los mismos (educación, acceso a créditos, capacitación, desarrollo humano).

Sin embargo, el estudio demostró que en realidad los cañeros no tienen mucho interés en diversificar su producción no obstante los bajos precios de la agroindustria con la esperanza de que las condiciones del mercado mejoren.

Esto plantea enormes desafíos, principalmente por la falta de un adecuado desarrollo financiero, insuficiente base tecnológica y de investigación, debilidad institucional, nula capacidad de gestión, carencia de mano de obra calificada y diferencias conceptuales entre la comunidad científica agrícola en relación con el cultivo de caña y en general con la agroindustria. A este respecto, la información para el análisis del sector, se encuentra dispersa en diversas fuentes y es abordada por metodologías disciplinarias para el manejo de datos o indicadores. Lo anterior la hace heterogénea y poco robusta en sus conclusiones y esta falta de criterios impide el análisis comparativo y, con demasiada frecuencia conduce a la interpretación errónea de los resultados de la agroindustria.

El desarrollo de una base de datos regional, basada en los elementos de la agroindustria azucarera generará la información necesaria sobre las posibilidades de diversificación en campo y fábrica, determinadas por los usuarios (cartografía participativa). En el mediano y largo plazo, la conformación de un sistema de información agroindustrial, deberá ser capaz de apoyar el concepto dinámico de las ventajas competitivas de la conexión y relación mutua de las entidades

participantes en el desarrollo, producción, transformación y distribución de productos derivados de la caña de azúcar.

3.13. Bibliografía

Aguarón, J.; Moreno-Jiménez, J. M.. 2003. The Geometric Consistency Index: Approximated Thresholds". *European Journal of Operational Research* 147(1): 137-145

Aguilar.R. N., D. A. Rodríguez Lagunes, A. Castillo Morán. 2010. Azúcar, coproductos y subproductos en la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. http://www.revistavirtualpro.com/files/ti02_201011.pdf

Aguilar.R. N., 2010. La Agroindustria de la Caña de Azúcar en "La Huasteca" San Luís Potosí México *Revista Latinoamericana de Ciencias sociales Espacio-Tiempo*. Año 3 (5):98-112

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2010. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. Aguilar, N.; Galindo, G.; Fortanelli, J. y Contreras, C. *Avances en investigación agropecuaria. AIA*. 14(2): 29-48

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2010. Competitiveness and productivity of Mexico's sugar mills. *Theoria*, 19 (1): 7-30

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México?. *Revista Globalización competitividad y gobernabilidad* 3(1): 62-75

Aguilar R. N. 2009. Diversificación productiva de la industria azucarera ¿Reto tecnológico, económico o social? *Revista Mundo Siglo XXI* 18:53-66

Akli 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* 16(5-6):139-148

Ahumada M.R. 2009. Diagnostico agro-industrial de la caña de azúcar en México. *Memorias XXXII Convención de la asociación de técnicos azucareros de México*. Cordoba Ver. 27-28 agosto 2009

Almazan O. 1998. The sugar cane, its by-products and co-products <http://www.gov.mu/portal/sites/ncb/moa/farc/amas98/keynote.pdf>

Álvarez J. 2007. Rise and decline of cuba's sugar industry under socialist rule: implications for the U.S. sweeteners market . *Journal of American Society of Sugar Cane Technologists*, 27:1-14.

Álvarez J. and Pérez-López J- F. 2006. The Restructuring of Cuba's Sugar Agro-industry: Impact on Rural Landscape and Communities. *Journal of Rural and Community Development* p.44-58

Álvarez, J., and J.F. Pérez-López. 2005. The restructuring of Cuba's sugar agroindustry, 2002-2004. Pages: 145-169. In: *Reinventing the Cuban Sugar Agroindustry*, J.F. Pérez-López and J. Alvarez, eds. Lexington Books, Lanham.

Alvarez J. and L. Peña C. 2001 *Cuba's Sugar Industry*, by, University Press of Florida.

Alonso Pippo, W. 2009. Cogeneration and Bio-Oil Production Starting from Sugarcane Biomass Residues: Barriers, Challenges and Opportunities. *The Open Fuels & Energy Science Journal*, 2:34-39

Alonso Pippo, W. 2006. Agro-industry sugarcane residues disposal: The trends of their conversion into energy carriers in Cuba. *Waste Management* 27(7):869-885

Amaral, T.M., Neves, M.F., Moraes, M.A.D. 2003. Análise comparativa entre cadeia da cana-de-açúcar do Brasil e da França. <http://www.fearp.usp.br/fava/pdf/pdf30.pdf>

Ansoff H, 1965. Strategies for Diversification, *Harvard Business Review*, 35(5):113-124

Anosike, M. and Coughenour, C.M. 1990. The Socioeconomic Basis of Farm Enterprise Diversification Decisions. *Rural Sociology*, 55(1):1-24.

Antony G. Z Jiao, F Sestak. 2005. Industry transition and sugarcane farm households in Maryborough. The Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, 8-11 February 2005, Coffs Harbour 15 p.

ASERCA 2004. Plan Rector del sistema producto caña de azúcar http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/PRector/24_SLP/AG_CanaAzucar.pdf

Ashfaq M., Sarfraz Hassan, Muhammad Zeeshan Naseer, Irfan Ahmad Baig and Javeria Asma. 2008. Factors affecting farm diversification in rice-wheat. *Pak. J. Agri. Sci.*, 45(3):91-94

Ashok K. Mishra and Janet E. Perry. 1999. Forward Contracting of Inputs:A Farm-Level Analysis. *Journal of Agribusiness* 17 (2):77-91

Arango S, 2008. Incidencias económicas del etanol como biocombustible en Colombia sobre los derivados de la caña de azúcar. Una aproximación con dinámica de sistemas. *Revista avances en sistemas e informática*. 5(2):69-75

Avram P. B. Morgen 2005. benchmarking concept for an integrated sugar, ethanol and co-generation plant.(ISSCT); International Society of Sugar Cane Technologists Congress vol.2; 2005 0130-0204; Guatemala City(GT)

Bandaranaike Solomon D. (2005). Crisis and Change: Engaging Rural Communities in the Sugar Industry. <http://www.engagingcommunities2005.org/abstracts/Bandaranaike-Suniti-final.pdf>

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* 187:1422–1428

Banerjee S. 2004. Determinants of International Competitiveness: A Comparative Study of the Sugar Industry in Australia, Brazil, and the European Union. Thesis for Degree of Masters in Business (Research), School of International Business, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.136 p.

Barredo Cano, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio. Editorial RA-MA. Madrid, España. 264 p.

Bassols B.A. 2003. Elementos de metodología de investigaciones geoeconómicas regionales *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 50:147-165

Bassols B.A. 1977. Las huastecas en el desarrollo regional de México, México, Editorial Trillas

Belka KM 2005. Multicriteria Analysis and GIS application in the Selection of sustainable motorway corridor. Master's thesis submitted to Linköpings universitet Institutionen för datavetenskap

Birch R. G. 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, 249–281 pp.

Bojórquez, L.A. 2009. ANP modeling of complex socio-environmental systems: adaptive capacity of smallholder coffee system in Mesoamerica. Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process 2009, 1-10 p. http://www.creativedecisions.net/~rozann/0Proceedings/Final_Papers/13_Bojorquez_ANP_in_Complex_System_REV_FIN.pdf

Boscolo M. 2003. Sucroquímica: síntese e potencialidades de aplicações de alguns derivados químicos de sacarose. Química nova. 26(6):906-912

Bowler, I. 1999. Modelling Farm Diversification in Regions Using Expert and Decision Support Systems. Journal of Rural Studies, 15(3):297-305.

Briglauer, W. Motives fir Firm Diversification: A Survey on Theory and Empirical Evidence,WIFO, Working Papers, Vol. 26.

Buzzanell, P. J. 1989. Cuba's Sugar Economy: Recent Performance and Challenges for the 1990s," Sugar and Sweetener Situation and Outlook Report, SSR14N2, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, June, pp. 17-28.

Buchholz, T.S., Volk, T.A., Luzadis, V. A. 2007. A participatory systems approach to modeling social, economical and ecological components of bioenergy". Energy Policy. 35: 6084-6094.

Brumbley 2007, Developing the sugarcane biofactory for high-value biomaterials. International Sugar Journal 109 (1297): 5-15

Cabello A. A. Torres, O. Almazán 2008. The economical viability of animal production based on sugarcane co-products under the present prices of commodities. Sugar Tech 10(1) : 25-28

Cabello A. 2002. Los Sistemas Agroalimentarios Actuales y la Caña de Azúcar. Un Análisis Comparativo. ICIDCA, La Habana 2002.

Cáceres D. 1994. Estrategias campesinas y riesgo. Desarrollo Agroforestal y Comunidad Campesina, 3(13): 2-6.

Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y alcohólica. 2010. En: <http://camaraazucarera.com.mx>

Campillo A., Fernández Gago R. 2009. ¿Qué factores determinan la decisión de diversificar? Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa 15(1):15-28.

Capaccioli S. 2009.Sugar industry restructuring by implementing bio-refinery technology <http://www.re-si-pe.com/publications.html>

Carvalho Macedo I., M. Regis Lima, J. E. Azevedo R. 2004. Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil Copersucar Piracicaba Brasil 47 p.

Carole T.M., J. Pellegrino, Mark D. Paster. 2004. Opportunities in the Industrial Biobased Products Industry. Applied Biochemistry and Biotechnology 113–116: 871-885.

Cespón R., J. A. Knudsen, F. Marrero 2008. Gestión logística de residuos en la industria azucarera cubana". Revista VIRTUALPRO® 82:1-15.

Chaplin, H., Davidova, S. and Gorton, M., (2004). Agricultural adjustment and the diversification of farm households and corporate farms in Central Europe. *Journal of Rural Studies* 20(1):61-77.

Chaplin, H. .Agricultural Diversification: A Review of Methodological Approaches and Empirical Evidence.. Idara Working Paper 2/2, Wye, 2000.

Chirstensen, H. K. y Montgomery, C. A. 1981. Corporate economic performance: Diversification strategy versus market structure", *Strategic Management Journal*, 2: 327-343.

Cimoli, Mario, J. Ferraz y A. Primi. 2005. Science and technology policies in open economies: the case of Latin America and the Caribbean", serie Desarrollo productivo, N° 165 (LC/L.2404), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.05.II.G.151.

Chatterjee, S. y Singh, J. 1999. Are tradeoffs inherent in diversification moves?. A simultaneous model for type of diversification and mode of expansion decisions, *Management Science*, 45(1):25-41

Cerro J.A. 2006. Acuerdos especiales, GEPLACEA y la integración latinoamericana. XIV International Economic History Congress, Helsinki 2006 Session 109. <http://www.helsinki.fi/iehc2006/papers3/JACerro.pdf>

CNIAA, 2010. Manual Azucarero Mexicano 2010. Editado por Cámara Nacional de las Agroindustrias Azucarera y Alcoholera. Edición 53, 470 p.

CNPR 2011. Estadísticas azucareras. <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.html>

CNPR 2009. Estadísticas azucareras zafras 2000/2009. En: <http://www.caneros.org.mx/>

Contreras A.M., E. Maylier Pérez, H. Van Langenhove J. Dewulf 2009. Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. *Journal of Cleaner Production* 17(8):772-779

Corpoica et FAO, 2004 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). Evaluación de la producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Tibaitatá (Colombia)

Cuellar A. I., Mario E. de León Ortiz. Caña de azúcar paradigma de sostenibilidad. 2003. Publicación INICA-MINAZ La Habana Cuba 176 p.

Culas R. (2006) Causes of Farm Diversification Over Time: An Australian Perspective on an Eastern Norway Model. *AFBM Journal: Farm Business and Farming Systems Management* 3 (1):1-9

Damianos, D. and Skuras, D. (1996) Farm business and the development of alternative farm enterprises: an empirical analysis in Greece. *Journal of Rural Studies*, 12(3):273-283.

Dang Khoi D., Y. Murayama 2010. Delineation of Suitable Cropland Areas Using a GIS Based Multi-Criteria Evaluation Approach in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. *Sustainability*. 2:2024-2043

Da Silva Aneirson F. 2009. modelagem do planejamento agregado da produção de uma usina sucroalcooleira. Dissertação de Mestre em Engenharia de Produção Universidade Federal de Itajubá, Itajubá Brasil Junho- 2009, 93 p.

Davis, R. y Thomas. L. G. 1993. Direct estimation of synergy: A new approach to the diversity-performance debate”, *Management Science*, 39(11): 1334-1346

Day, D. 2008. Sugar-based Ethanol Biorefinery: Ethanol, Succinic Acid and By-Product Production. LSU Agricultural Center Audubon Sugar Institute, U.S. Department of Energy 71 p.

DEFRA 2003. Farm Diversification in England, Centre for Rural Research, University of Exeter; Rural and Tourism Research Group, University of Plymouth 167 p.

De Freitas Vian 2005. estudo de impacto econômico (EIS) para o complexo agroindustrial canavieiro: introdução e agenda de pesquisa XLIII Congresso Da Sober “Instituições, Eficiência, Gestão e Contratos no Sistema Agroindustrial” Ribeirão Preto, 24 a 27 de Julho de Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural

D’Hont D.A., G. Mendes Souza, M. Menossi. 2008. Chapter 21 Sugarcane: A Major Source of Sweetness, Alcohol, and Bio-energy Springer, Moore, R. Ming (eds.), *Genomics of Tropical Crop Plants* 403-513

De la Torre M. M. 1989. Biotecnología y el aprovechamiento de los derivados de la caña de azúcar. GEPLACEA-PNUD México, 85 p.

Derya B. O” zyurt and Matthew J. Realf 2002. Combining a Geographical Information System and Process Engineering to Design an Agricultural-Industrial Ecosystem *Journal of Industrial Ecology* 5(3):13-31

Dewan, S.; Michael, S. C.; Min, C. K. 1998. Firm characteristics and investments in information technology: Scale and scope effects”, *Information Systems Research*, 9(3): 219-232

Díaz S. J., 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*, 41:62-80

Diogo F. P., T. D. P. Lucas, F. B. de Lima Neto 2007. How to Obtain Fair Managerial Decisions in Sugar Cane Harvest Using NSGA-II,” his, pp.186-191, 7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS 2007)

Domínguez, L. 2005. Desarrollo regional y competitividad: La agroindustria azucarera en México”. *Nósis*. 15(27):227-250.

Domac, J. K. Richards, S. Risovic. 2005. socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass & Bioenergy*. 28(2): 95-266

Domínguez T. A., V. H. Volke Haller, C. Landeros S., J. A. Villanueva J., M. E. Nava T. 2004. caracterización del agroecosistema cañero con fines de incrementar su productividad en el ingenio la gloria, Veracruz. http://www.colpos.mx/cveracruz/SubMenu_Publi/Avances2004/caracterizaci%F3n_del_agroecosistema_ca%F1ero.html

Eakin H., L. A. Bojorquez-Tapia, R. Monterde D., E. Castellanos, J. Hagggar. 2011. “Adaptive Capacity and Social-Environmental Change: Theoretical and Operational Modeling of Smallholder Coffee Systems Response in Mesoamerican Pacific Rim” *Environmental Management* DOI 10.1007/s00267-010-9603-2

Edye, L.A. 2006. The sugarcane biorefinery: Energy crops and processes for the production of liquid fuels and renewable commodity chemicals. *International Sugar Journal* 108(1285):19-27

Ellis F. 2000. The Determinants of Rural Livelihood Diversification in Developing Countries. *Journal of Agricultural Economics* 51(2):289-302

Ellis F. 2000. The Determinants of Rural Livelihood Diversification in Developing Countries. *Journal of Agricultural Economics* 51(2):289-302

Enríquez P. M. 2008. Planeación Estratégica Para la Agroindustria de la Caña de Azúcar "La Fábrica y su Diversificación. Memorias de la XXXI Convención Nacional ATAM, 9-12 septiembre Boca del Rio Ver. México, 104 p

Enríquez, P. M. 2001. El proceso agroindustrial de la caña de azúcar del futuro. XXIV Convención de la ATAM. *Revista de la ATAM*. No. 2, Vol. 8. Impresión Unión. México, D. F. 24 p.

Enríquez Poy M. 2009. México el Ranking Mundial del Azúcar. *Sugar journal* 15-18 http://www.sugarjournal.com/articles/active_subs/2009/Dec2009/SJ%20Mexico%20Sugar%20Ranking-Eng_Span.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>

El Hajj M. S. Guillaume, A. Bégué. 2009. Complementary source information cooperation within a decision system for crop monitoring. "Proceedings of the joint IFSA-EUSFLAT, 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society of Fuzzy Logic and Technology Conference, Lisbonne Portugal

Falconi F., Burbano R. 2004. Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 1:11-20

Fava Neves 2007. Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica *Econ. aplic.*, São Paulo, 11(4): 587-604

Figueroa V. 1995. Integración de la Caña de Azúcar con el Reciclaje de Desperdicios, Subproductos y Residuales para una Producción Porcina Sostenible en: <http://www.fao.org/AG/aga/agap/frg/APH134/cap15.htm>

Franco, M. M. 2008. Use of Geographical Information Systems to evaluate the potential of cogeneration from sugarcane residues in the state of São Paulo, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 120 p. Dissertation (M.Sc.)

Freitas, A.; Marins, C.; Souza, D. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. *Revista GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas* 2(3):52-60.

Gallardo-López F., D. Riestra-Díaz, A. Aluja-Schunemann, J. P. Martínez-Dávila. 2002. factores que determinan la diversidad agrícola y los propósitos de producción en los agroecosistemas del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36: 495-502

Gamarra E. E. Silva Lora. 2005. Techno-economical evaluation of Diversification in sugarcane industry. (ISSCT); International Society of Sugar Cane Technologists Congress Vol.2; 2005; Guatemala City(GT)

Godoy R., C. Bennett 1999. Diversification among Coffee Smallholders in the Highlands of South Sumatra, Indonesia. *Human Ecology*, 16(4):397-420.

Gómez-Limón J. A., L. Riesgo. 2008. alternative approaches on constructing a composite indicator to measure agricultural sustainability". 107th EAAE Seminar "Modelling of Agricultural and Rural Development Policies. Sevilla, Spain, January 29th -February 1st, 2008, 25 p.

Grimaldi M. 2011. An AHP-Based Framework for Selecting Knowledge Management Tools to Sustain Innovation Process". *Knowledge and Process Management*. 18 (1): 45–55

Grenzebach E. 2009. Exit strategy – the cost to farmers of moving out of sugarcane". En: Restructuring and Diversification Management Unit (RDMU) to Coordinate the Implementation of the National Adaptation Strategy to the EU Sugar Reform, Swaziland. Ministry of Economic Planning and Development Swaziland 94 p.

Hildebrand, C. 2002. Independent Assessment of the Sugar Industry, Report to the Hon. Warren Truss MP Minister for Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra 54 p.

Galindo M. M.G. 2003. La reorganización económica y espacial de la agroindustria azucarera mexicana en el marco del tratado de libre comercio: problemática implicaciones y alternativas. Tesis de Doctorado en Geografía. UNAM, 372 p.

Gálvez, L. 2000. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar, Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana Cuba. 3era edición. 458 p.

Gamarra E. E. Silva Lora. 2005. techno-economical evaluation of. Diversification in sugarcane industry. (ISSCT); International Society of Sugar Cane Technologists Congress vol.2; 2005; Guatemala City(GT)

García, J. G. 2006. External insertion, transformation and development in the periphery", *Cuadernos de Economía*, v. xxv, n. 44, Bogotá, 57-99 p.

García Chávez L.R. 2009. La crisis azucarera, oportunidad de desarrollo. *Revista de la Asociación de Técnicos azucareros de México*, 16(1): 23-26 pp.

García Chávez L.R. 2008. La agroindustria cañera de México "Libre comercio de edulcorantes" Universidad Autónoma Chapingo 30 p.

García Ch., L. 1997. La agroindustria azucarera de México frente a la apertura comercial, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas, sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), México,.

García de Quevedo F. 2006. Tipología de productores del estado de Jalisco. SAGARPA-Jalisco. 118 p.

García Molina 2006. La economía cubana desde el siglo XVI al XX: del colonialismo al socialismo con mercado. CEPAL - SERIE Estudios y perspectivas – Sede Subregional de la CEPAL en México No. 28, 55 p

García Castro M.B., Z. Carranco G.2008. Concentración regional en Veracruz. Un enfoque de identificación de Aglomeraciones Productivas Locales *Análisis Económico* 52(XXIII): 291-310

GEPLACEA-PNUD. 1991. La diversificación agroindustrial de la caña de azúcar. Serie Diversificación. GEPLACEA-PNUD. Publicación GEPLACEA. México, D.F. 172 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. 2º edición. GEPLACEA-PNUD. México, D. F. 447 p.

GEPLACEA. 1988. Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera. Publicación GEPLACEA. México, D. F. 436 p.

GEPLACEA 1986. La agroindustria de la caña de Azúcar en América Latina y el Caribe. México 138 p

Gerritsen R. W. P. (2008). Comparación de cuatro sistemas productivos en el ejidode La Ciénega, costa sur de Jalisco Investigaciones Geográficas 65:68-81

Geung-Joo 2007. Soybean. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 2 Oilseeds C. Kole (Ed.) © Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Giovanetti L. 2000. Competitividade do sistema agroindustrial da soja, PENSA/USP Rubens Nunes FIPE-Agrícola e PENSA/US en: http://www.fundacaofia.com.br/pensa/pdf/relatorios/ipea/Vol_V_Soja.PDF

Goldberg, Ray A. and Davis, John H. 1957. A concept of agribusiness. Division of Research, Graduate School of Business administration, Harvard University, Boston.

Gómez-Limón J. A., L. Riesgo. 2008. alternative approaches on constructing a composite indicator to measure agricultural sustainability. 107th EAAE Seminar "Modelling of Agricultural and Rural Development Policies". Sevilla, Spain, January 29th -February 1st, 2008, 25 p.

Gómez-Limón, J.A. and Atance, I. 2004. Identification of public objectives related to agricultural sector support. Journal of Policy Modelling 27(8-9):1045-1071

Gutiérrez V. D. 2004. La textura de lo social. Revista mexicana de sociología, año 66, Núm. 2, abril-junio, 311- 343 p.

Gupta R. P. and S K Tewari 1985. Factors affecting Crop Diversification: An empirical analysis, Indian Journal of Agricultural Economics 40(3): 304-311

Haque T., Bhattacharya M., Sinha G. 2010. Constraints and Potentials of Diversified Agricultural Development in Eastern India. Planning Commission (Government of India) 195 p. http://planningcommission.nic.in/reports/sereport/ser/ser_agridiv1102.pdf

Haque T., Bhattacharya M., Sinha G. (2010). "Constraints and Potentials of Diversified Agricultural Development in Eastern India". Planning Commission (Government of India) 195 p. http://planningcommission.nic.in/reports/sereport/ser/ser_agridiv1102.pdf

Hallie Eakin H., L. A. Bojorquez-Tapia, R. Monterde D., E. Castellanos, J. Hagggar. 2011. Adaptive Capacity and Social-Environmental Change: Theoretical and Operational Modeling of Smallholder Coffee Systems Response in Mesoamerican Pacific Rim Environmental Management DOI 10.1007/s00267-010-9603-2

Higgins A. 2007. Opportunities for value chain research in sugar industries. Agricultural Systems 94:611–621

Hilmola O.P., J. Saranen, F. Padilha 2010. Location Criteria and Strategic Factors of Biodiesel Factory Establishment in Finnish Context, Lappeenranta University of Technology Department of Industrial Management Kouvola Research Unit Research Report 219, 66 p.

Huerta Riveros P. 2004. Factores determinantes de la estrategia de diversificación relacionada: una aplicación a las empresas industriales españolas, universidad complutense de Madrid. facultad de ciencias económicas y empresariales Departamento de Organización de Empresas, Madrid, 2004 338 p.

Hymowitz T. 1970. On the Domestication of the Soybean. 24(4): 408-421.

Hagelberg, G.B., and J. Alvarez. 2005. Cuba's costs of sugar production: past, present and future. Pages: 171-188. In: Reinventing the Cuban Sugar Agroindustry, J.F. Pérez-López and J. Alvarez, eds. Lexington Books, Lanham.

Haque T., Bhattacharya M., Sinha G. 2010. Constraints and Potentials of Diversified Agricultural Development in Eastern India. Planning Commission (Government of India) 195 p. http://planningcommission.nic.in/reports/sereport/ser/ser_agridiv1102.pdf

Haque, T (1985) Regional Trends and Patterns of Diversification of the Rural Economy in India, Indian Journal of Agril. Economics XL(3):291-297

Hausmann, R. and D. Rodrik. 2003. Economic Development as Self-Discovery. Journal of Development Economics 72: 603-633

Heady E 1952, Diversification in Resource Allocation and Minimisation of Income Variability, Journal of Farm Economics, 34: 482 - 96.

Hildebrand, C. 2002. "Independent Assessment of the Sugar Industry", Report to the Hon. Warren Truss MP Minister for Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra 54 p.

Higgins A., P. Thorburn , A. Archer , E. Jakku.2007. Opportunities for value chain research in sugar industries. Agricultural Systems 94: 611–621

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.

Isaacs Echeverry, C.H. ; Zamorano Á. D. ; Villegas G., A. ; Contreras, C. ; Moreno Gil, C.A. 2009. Impacto del uso de prácticas agronómicas con enfoque de Agricultura Especifica por Sitio (AEPS) en la rentabilidad de la caña de azúcar. Cali: CENICAÑA : 18 p. Documento de Trabajo 703.

Just RE & Pope RD 1999. Implications of heterogeneity for theory and practice in production economics. American Journal of Agricultural Economics 81(2):711-718.

Kamm B. 2004. Principles of biorefineries. Appl Microbiol Biotechnol 64:137–145

Keerthipala A.P. 2007. Sugar Industry of Sri Lanka: Major Issues and Future Directions for Development SugarTech 9(1):1-10

Knudsen J. G. 2004. Evaluation of the level of performance at the supply chain of the cane straw for their use with energy purpose in a sugar mill. Primer Seminario Nacional de Catedras Azucareras de las Universidades Cubanas.junio 10-11, 2004 <http://www.uh.cu/infogral/areasuh/vri/archivos/CAR/seminario2004/PDF/PONENCIAS/Jos%E9%20Knudsen%20Gonz%E1lez/Trab.%20de%20Knudsen%20a%20Sem.%20Cat.%20Azuc.%20A.%20Reynoso.%20Abril04.pdf>

Krajnc D., P. Glavič 2007. Fuzzy Logic Model for the Performance Benchmarking of Sugar Plants by considering Best Available Techniques 17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17 V. Plesu and P.S. Agachi (Editors) Elsevier B.V.

Kanlaya T, Songkot D, Chalie N (2009) Integration of land evaluation and the analytical hierarchical process method for energy crops in Kanchanaburi, Thailand. *Science Asia* 35: 170–177

Keating, B.A., Antony, G., Brennan, L.E. and Wegener, M.K, 2002. Can renewable energy contribute to a diversified future for the Australian sugar industry? *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 24: 26-39.

Khan R. 1994. Sucrose: its potential as a raw material for food ingredients and for chemicals. In 'Sucrose: Properties and Applications'. (Eds M Mathlouthi and P Reiser) 264–278 p.

Keerthipala A.P. 2007. Sugar Industry of Sri Lanka: Major Issues and Future Directions for Development *SugarTech* 9(1):1-10

Kumar R., P.K. Mehra, B. Singh, H.S. Jassal, B.D. Sharma 2010. Geostatistical and Visualization Analysis of Crop Suitability for Diversification in Sub–mountain Area of Punjab, North-West India J. *Indian Soc. Remote Sens.* 38 : 211–226

Ibery, B. W. 1991. Farm diversification as an adjustment strategy on the urban fringe of the West Midlands', *Journal of Rural Studies* 7 (3):207-218.

Junqueira A. C. 2009. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 39 (3): 507-518.

Imbs, J. and Wacziarg, R. 2003. Stages of diversification. *American Economic Review* 93(1): 63-86.

Labarca N. 2007. Consideraciones teóricas de la competitividad empresarial. *Omnia* 13(2,):158-164

Lamparelli, R. A.C. H. S. Dias 2009. Methodological development of a quality index for agricultural operations, for corn cultivation using multi-criterion analysis *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 81(4): 849-859

Lapola D.M., R. Schaldach, J. Alcamo, A. Bondeau, J. Koch, C. Koelking, J. A. Priess. 2010. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *PNAS* 107(8):3388–3393 www.pnas.org/cgi/content/full/0907318107/DCSupplementa

LMC International and Oxford Policy Management (2003). Addressing the Impact of Preference Erosion in Sugar on Developing Countries', Report for DFID, Oxford.

Lodi E. 2005. O Novo Ciclo da Cana : Estudo sobre a Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos. Brasília: IEL/NC; SEBRAE, 337 p

Macedo IC, Seabra JEA, Silva JEAR 2008. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020". *Biomass and Bioenergy* 32: 582-595.

McNamara K., C. Weiss 2001. On- and Off-Farm Diversification <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/20520/1/sp01mc01.pdf>

Malczewski J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley, New York

Marini F. R.; G. L. Carvalho; E. D. Assad. 2009. Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 a 2005/2006 XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de – GrandDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG

Marrero Delgado, F. 2001. Gestión Multicriterio de la cadena logística de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. Centro Azúcar. 1(28): 80-89.

Martin, J.D., Sayrak, A. 2003. Corporate Diversification and Shareholder Value: A Survey of Recent Literature. Journal of Corporate Finance, 9 (1):37-57.

Mishra, A. and H. El-Osta. 2002. Risk management through enterprise diversification: A farm level analysis". AAEA meetings in Long Beach, CA, U.S.A. July 28-31.

Matti Landin – Finpro 2008. Survey on Potential of BioRefinery R&D Co-Operation between Finland and Selected South American Countries Seminar Helsinki 22.1. Brazil 33 p.

Markowitz, H M 1959, Portfolio Selection, Efficient Diversification of Investment, Yale University Press, New Haven and London.

Martínez C. A. S. 2008. Influencia de la decisión de diversificar sobre el crecimiento y la rentabilidad: Un estudio bajo el enfoque "Agencia-Stewardship" Cuadernos de Estudios Empresariales, 18:89-107

Mayer, M.; Whittington, R. 2003. Diversification in context: a cross-national and cross-temporal extension", Strategic Management Journal, 24(8): 773-781.

Meirelles de Souza H.F. 2008. competitiveness of sugar agrosystem Bolivia and Brazil, GEPAI/UFSCar 27 pp.

Melhim, A., O'Donoghue, E.J., and Shumway, C.R. 2008. What does Initial Farm Size Imply about Growth and Diversification? Working Paper Series WP Washington State University 32 p.

Menguzzato, M. Y Renau, J. J. 1991. La dirección estratégica de la empresa. Un enfoque innovador del management. Editorial Ariel, Barcelona

Merton, R. C. 1972. Analytic derivation of the efficient portfolio frontier. Journal of Financial and Quantitative Analysis. P. 1851-1872.

Mitchell, C.P. 2000. Development of decision support systems for bioenergy applications. Biomass and Bioenergy, 18: 265-278.

Milford, B. 2002. The State of value Chains in the Australian Sugar Industry." CRC Sugar (June): 1-22 p.

Minot N. 2003. Income diversification and poverty in the northern uplands of Vietnam. International Food Policy Research Institute and Japan Bank for International, Washington, D.C. USA, 245 p.

Mirkov TE, Damaj MB, Gonzalez J, Molina J, White SG, 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.

Mishra A. K., Hisham S. El-Osta, C. L. Sandretto 2004. Factors Affecting Farm Enterprise Diversification. Agricultural Finance Review, Fall 151-166 p.

Möllers, J., 2006. Außerlandwirtschaftliche Diversifikation im Transformationsprozess. Diversifikationsentscheidungen und -strategien ländlicher Haushalte in Slowenien und Mazedonien. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart 329 p.

Monteiro de Abreu L., R. Granemann, I. Gartner 2000. escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4(2):257-262

Montgomery, C. A. 1994. Corporate diversification. Journal of Economic Perspectives, 8(3):163-178

Montoya Rodríguez, M. I. J.A. Quintero Suárez. 2005. Esquema tecnológico integral de la producción de bioetanol carburante. Pregrado thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales <http://www.bdigital.unal.edu.co/1043/>

Morandini Paoliello J.M. 2006. Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira, Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 180 p.

Morecroft JDW. 1996. A Behavioral Model of Diversification and Performance in a Mature Industry. <http://www.systemdynamics.org/conferences/1996/proceed/papers/morec389.pdf>

Mosadeghi R., Tomlinson, R., Mirfenderesk, H., and Warnken, J., 2009. Coastal Management Issues in Queensland and application of the Multi-Criteria Decision Making technique en: http://www98.griffith.edu.au/dspace/bitstream/10072/29621/1/55945_1.pdf

Mubarik Ali, 2004. Agricultural Diversification and International Competitiveness Report of the APO Study Meeting on Agricultural Diversification and International Competitiveness, Edited by Dr. Agriculture Economist/Head of the Socioeconomic Unit and Economic and Nutrition Project, Asian Vegetable Research and Development Center, Republic of China. 292 p.

Müller, G. O 1982. Complexo agroindustrial brasileiro. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR.

Nagesha, N., and Balachandra, P. 2006. Barriers to energy efficiency in small industry clusters: Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process”, Energy, 31:1969-1983.

Naraine L. 2005. An Examination of Factors Influencing Policy Design and Implementation of Non-Sugar Agricultural Diversification in St. Kitts. Sir Arthur Lewis Institute of Social and Economic Research University of the West Indies 53 p.

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>

Nonaka, I. 1991. The knowledge-creating company”, harvard business review, 69(6):96-104.

Nothard B W, G F Ortmann and E Meyer. 2004. Institutional and resource constraints that affect small-scale sugarcane contractor performance in kwazulu-natal. Proc S Afr Sug Technol Ass. 78: 227-238

Nothard BW, GF Ortmann, E Meyer 2005. attributes of small-scale sugarcane contractors that influence their service quality in kwazulu-natal. Agrekon, 44(3):402-422

Northcote J., A. D. Alonso 2010. Factors underlying farm diversification: the case of Western Australia's olive farmers. <http://www.springerlink.com/content/p21585207815683u/>

Nova, A. 2004. Redimensionamiento y diversificación de la agroindustria azucarera cubana”, en Pérez Villanueva, Omar (Comp.), Reflexiones sobre Economía Cubana, Editorial de las Ciencias Sociales: La Habana.

Nguyen TLT, Gheewala SH 2008. Life cycle assessment of fuel ethanol from cane molasses in Thailand. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 301-311.

Ocampo J.L. 2008. Paradigmas tecnológicos, sujetos tecnológicos. *Ciencia tecnología y sociedad* Numero 2, CIESTAAM-UACH, Texcoco México, 38 p.

Olhoft P. M. and D.A. Somers 2007. Soybean. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Vol. 61 *Transgenic Crops VI* (ed. by E.C. Pua and M.R. Davey) c Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 25 p.

Oquendo Ferrer H., 2001. Aplicación de la programación lineal a la diversificación Azucarera. *Centro Azúcar* 3/2001: 63-70 p

Oddershede A. 2007. Rural development decision support using the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling* 46(7-8):1107-1114

Orán Cáceres, J.P., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. 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. Pp. 971-987

Ortiz, C. H. and Uribe, J. I. 2006. Opening, economic structure and informality: a theoretical model”, *Cuadernos de Economía*, XXV(44): 143-175

Osorio B., D. 2009. Análisis teórico de la relación entre diversificación corporativa y resultados empresariales. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa* 15(2):105-126

Overend R.P, C.P. Mitchell., 2000. Modelling biomass and bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 18:263-264.

Paneque Salgado P. , S. Corral Quintana, Â. Guimarães Pereira, L. del Moral Ituarte, B. Pedregal 2009. Participative multi-criteria analysis for the evaluation of water governance alternatives. A case in the Costa del Sol (Málaga) 68(4):990-1005

Padilla-Fernandez M. D., P. Nuthall 2001 *Farmers' Goals and Efficiency in the Production of Sugar Cane: The Philippine Case* Research Report 07/2001 Farm and Horticultural Management Group Lincoln University Canterbury New Zealand 42 p.

Papademetriou M.K.2001. *Crop Diversification in the Asia-Pacific Region*”. Food and agriculture organization of the United Nations regional office for Asia and the pacific Bangkok, Thailand <http://www.fao.org/docrep/003/x6906e/x6906e00.htm#Contents>

Paturau, M. J. (1989). *By-products of the cane sugar industry can introduction to their industrialization*. 3ª. Edition. Elsevier Science Publishing Company Inc. New Cork City, N. Y. 436 p.

Phalan A. 2009. The social and environmental impacts of biofuels in Asia: An overview”. *Applied Energy* 86:S21–S29

Perea Quezada J. 2010. El estado y su impacto en la competitividad de la industria azucarera del estado de Veracruz. XV Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática <http://congreso.investigacion.fca.unam.mx/docs/xv/ponencias/73.pdf>

- Pérez Z. A. 2007. Tenencia de la tierra e agroindustria azucarera. Edit. Porrúa, México 214 p.
- Pérez-López, J.F. and J. Alvarez, eds. 2005. Reinventing the Cuban Sugar Agroindustry. Lexington Books, Lanham.
- Pérez Rodríguez, M. J. 1998. Problemas vinculados con la diversificación empresarial: La medición de la estrategia de la empresa”, Cuadernos de Estudios Empresariales, 8:195-213
- Pérez, F.; Knudsen, J. y Rubio, A. 2002. Art technology state for the use of the sugar cane agricultural waste in Cuba. En: Proceedings of 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection (Amsterdam, 17-21 de junio de 2002)
- Pérez, O. M. A. y G. H. Navarro. 1996. Estrategias organizacionales y tipos de sistemas económicos familiares. In: Memoria del Seminario de Investigación sobre Desarrollo Rural. Zapata, M. E. y Mercado, G. M. (comps.). México. pp: 165-180.
- Perez-Portilla, E. Geissert-Kientz, D. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia*, 31(8):556-562
- Peteraf, M. A. 1993. The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view”, *Strategic Management Journal*, 14: 179-191.
- Philip P. 2003. Cutting downsizes it's sugar industry. Lexington Institute 16 pp. Lexington Institute studies on Cuba's economy and other topics En: <http://www.lexingtoninstitute.org/cuba>.
- Piñeiro M. 2009. El contexto internacional y regional para el desarrollo agropecuario y rural de América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, C.R., 36 p.
- Pitts and H. Hopkins. “Firm Diversity: Conceptualization and Measurement”. *Academy of Management Review*. 7 (4): 620-629,
- Prado L. S. 2008. Value Added analysis of Brazilian Sugarcane Mill Groups. http://www.markestrat.org/up_arqs/pub_20110204085447_valueaddedanalysisofbraziliansugarcane_millgroups.pdf
- Podvezko V. 2009. Application of AHP technique. *Journal of Business Economics and Management* 10(2): 181–189
- Pope, R.D. and R. Prescott. 1980. Diversification in relation to farm size and other socio- economic characteristics. *American Journal of Agricultural Economics*, 62(3):554-559.
- Prado Queiroz S. P. 2008. Usinas de álcool - fatores influentes no processo de escolha da localização de novas unidades. http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/4927/1/2008_SauloTarsoPradoQueiroz.pdf
- Quintero J.A., M.I. Montoya, O.J. Sánchez, O.H. Giraldo and C.A. Cardona. 2010. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. *Energy* 33(3):385-399
- Qureshi, M.E., Qureshi, S.E. and Wegener, M.K. 2007. Economic implications of alternative mill mud management options in the Australian sugar industry, *Agricultural Economics* 36 (1): 111-120.
- Qureshi M.E. 2003. Application of the Analytic Hierarchy Process to Riparian Revegetation Policy Options EN: http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:8658/n09_Ejaz.pdf

Quirk R, H. Morar, R. Perkins, G. Kingston and W. Burnquist. 2007. The better sugarcane initiative impacts and benefits on the global sugarcane industry Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 26:199-204

Ramanujam et Varadarajan, 1989. Research on Corporate Diversification : A Synthesis. Strategic Management Journal 1989 ; 10 : 523-51.

Ramírez Angulo, N. Mungaray Lagarda, A.; Ramírez Urquidy, M.;Taxis Flores, M. 2010. Economías de escala y rendimientos crecientes una aplicación en microempresas mexicanas. economía mexicana nueva época, XIX(2):213-230

Randi Dalgaard, J. Schmidt, Niels Halberg, P. Christensen, M. Thrane and W A. Pengue 2008. LCA of Soybean Meal LCA 13 (3) 240 – 254

Ray S.S., 2005. Use of GIS and remote sensing for crop diversification - a case study for Punjab state. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 33(1): 181-188

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/>

Renouf M.A. M.K. Wegener. 2007. Environmental life cycle assessment (LCA) of sugarcane production and processing in Australia. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, 29:1-15.

Rivera A. 1980.Subproductos y derivados de la industria azucarera. Ciencia y sociedad. V(2):225-241

Riveros H.P. 2004. La Diversificación desde la Teoría de Recursos y Capacidades , Cuadernos de Estudios Empresariales 14:87-104

Robertson M.J., Muchow R.C. and Prestwidge D.B. 1996. the sugarbag database system: enhancing the ability of field experimentation to overcome constraints to sugarcane production Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production. Wilson JR, Hogarth DM, Campbell JA and Garside AL (Eds).CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, Brisbane pp. 19-21

Roebeling, P. C., Webster, A. J., Biggs, J. and Thorburn, P. 2007. Financial-economic analysis of current best management practices for sugarcane, horticulture, grazing and forestry industries in the Tully-Murray catchment. Report to the Marine and Tropical Sciences Research Facility. Reef and Rainforest Research Centre, Cairns 59 p.

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.

Rodríguez-Borray G 2010. Desarrollo metodológico para la valoración de los elementos funcionales de Sistemas Agroalimentarios Localizados. 116TH EAAE Seminar "Spatial Dynamics in Agri-food Systems: Implications for Sustainability and Consumer Welfare" 16 p. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/95225/2/134completo.pdf>

Rodríguez-Borray G. 2008. La diversificación productiva comme stratégie d'activation de Systèmes agroalimentaires localisés : cas de l'agro-industrie de la panela en Colombie. Cahiers Agricultures 17(6):572-576

Rodríguez Duarte A., J. Fernández M. 2009. ¿Pueden las inversiones en I+D condicionar la decisión de diversificación?: una aplicación a las a las empresas industriales en España *Economía industrial* pp. 195-208

Rojas López, J., Mora, E., Tovar, A. 2010. análisis exploratorio de las variaciones temporales y espaciales de la especialización productiva del maíz en Venezuela (1984-2004). *Agroalimentaria*. 16(30):61-75

Rosenthal, P. 2006. Vertical Integration in International Ethanol Chains An investigation about the performance of the Brazilian ethanol chains. Thesis Urban Environmental Management Wageningen University 109 p.

Rozman È. K. Pažek 2005. Application of Computer Supported Multi-criteria Decision Models in Agriculture *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 70 (4):127-134

Rumelt R. P. 1982. Diversification Strategy and Profitability *Strategic Management Journal*, 3(4): 359-369

Sahoo NR, Jothimani P and Tripathy GK (2000) Multi-criteria analysis in GIS environment for Natural Resource Development - A Case Study on Gold Exploration. Online publications cited from GISdevelopment.net <http://www.gisdevelopment.net/magazine/gisdev/2000/may/gise.shtml>

Sánchez, S. M. T. y R. A. Malillos. 1998. Diseño de una tipología agrícola y su aplicación al caso de la agricultura morelense. *Geografía y Desarrollo*. Colegio Mexicano de Geografía.16: 6-26.

Sahoo NR, Jothimani P and Tripathy GK 2000. Multi-criteria analysis in GIS environment for Natural Resource Development - A Case Study on Gold Exploration. <http://www.gisdevelopment.net/magazine/gisdev/2000/may/gise.shtml>

Santaella E. 1980. Algunos aspectos a ser considerados en la diversificación de la industria azucarera. *Ciencia y Sociedad* V (2):243-251

Santé Riveira, I. y Crecente Maseda, R. 2005. Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales, *GeoFocus* V(5):40-6

Seungdo Kim 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel *Biomass and Bioenergy* 29: 426-439

Sánchez S. J. 2002. La competitividad azucarera de Sinaloa http://mochis.udo.mx/revista/pub_mayo_ago/LA_COMPETITIVIDAD_AZUCARERA_DE_SINALOA.pdf

Sánchez U.R. 2003. Impacto de la crisis azucarera en las unidades de producción cañera. Tesis de Maestría en estrategias para el desarrollo agrícola regional. COLPOS campus Puebla 161 p.

Santaella E. 1980. Algunos aspectos a ser considerados en la diversificación de la industria azucarera. *Ciencia y Sociedad*, V(2): 243-251

Saaty, T.L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, 48:9-26.

Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15 (3), 234-281.

Seungdo Kim & Bruce E. Dale 2009. Regional variations in greenhouse gas emissions of biobased products in the United States—corn-based ethanol and soybean oil. *Int J Life Cycle Assess* 14:540-546

Şehnaz Ş. E. Şener, 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*. 30(11):2037-2046

Singelmann, P. 1996. Sugar Cane Cultivation, Traditions, and Belated Challenges of Modernity. *Culture & Agriculture* Volume 18, Issue 3, pages 93–97, September 1996 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1525/cag.1996.18.3.93/pdf>

Singh, G.B. and Solomon, S. 1995. *Sugarcane: Agro-Industrial Alternatives*. Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi. 543 p

Singh A. J., K. K. Jain and Inder Sain 1985. Diversification of Punjab Agriculture: An Econometric Analysis” *Indian Journal of Agricultural Economics* 40(3): 298-303.

Silva JR. A. G. da, Perez, R., Martins, E.L. 2009. Análise de investimento em unidade de produção de óleo vegetal utilizando a metodologia “Analytic Hierarchy Process” com o software “Expert Choice”. In. 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática. Viçosa – MG. 21 a 25 de setembro,

Silva M. S. 2006. Composição Química e Valor Protéico do Resíduo de Soja em Relação ao Grão de Soja. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 26(3): 571-576

Sistema de Información Agropecuaria SIAP. 2009. Padrón De Productores De Caña De Azúcar (Zafra 2006-2007)”. Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación SAGARPA.

Sistema de Información Agropecuaria SIAP. 2010. Sistema producto. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En <http://www.siap.gob.mx/>

Solomon S., 2005. *Sugar cane: production management and agro-industrial imperatives*. International Book Distribution Co., India 865 p.

Solomon S 1996. Sugar production in india by 2000 ad. 1. constraints and strategies for increasing production and production efficiency. *Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production*.

Wilson JR, Hogarth DM, Campbell JA and Garside AL (Eds). *CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures*, Brisbane. 1996. pp. 9-11

Sipahi, M. T. 2010. The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications, *Management Decision*. 48 (5):775 – 808

Smeets E, Junginger M, Faaij A, Walter A, Dolzan P, Turkenburg W 2008 The sustainability of Brazilian ethanol - an assessment of the possibilities of certified production. *Biomass and Bioenergy* 32: 781-813

Schneider, LC, Kinzig, AP, Larson, ED, Solórzano, LA. Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 84:207–226.

Sumner D.1982. The Off-Farm Labor Supply of Farmers” *American Journal of Agricultural Economics*, 64(3): 499-509

Suárez G.E. 2005. Consideración de la incertidumbre del desarrollo prospectivo, mediante el incremento de la producción de etanol de la industria de la caña de azúcar”. *Red CYTED*. Santa Clara Cuba 160 p.

Suárez G, I. 1992. La estrategia de diversificación empresarial y sus efectos sobre los resultados de la empresa española”, Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca, Salamanca.

Subirana G. 2008. Diagnóstico situacional de la producción de soya (glycine max) en Santa Cruz, Bolivia

Taheripour F. 2008. Biofuels and their By-Products: Global Economic and Environmental Implications. Department of Agricultural Economics Purdue University West Lafayette, Indiana, 28 p.

Taylor P. 1994. Geografía Política, Economía-mundo, Estado-nación y Localidad. Colección ECUMENE, Editorial Trama, Madrid España.

Teece, D. J. 1982. Towards and economic theory of the multi-product firm, Journal of Economic Behavior and Organization 3:39–63.

Tenerelli P, Monteleone M. A 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>

Tienwong Kanlaya, Songkot Dasananda, Chalie Navanugraha. 2009. Integration of land evaluation and the analytical hierarchical process method for energy crops in Kanchanaburi, Thailand. ScienceAsia 35:170–177

Tienwong K. 2008. Applications of geoinformatics technology to land evaluation for energy economic crops in western Thailand. Thesis Doctor of Geoinformatics Suranaree University of Technology 256 p.

Thorburn P. 2008. A sociological approach to the participatory development of agricultural decision support systems. Proceedings of the 14th Australian Agronomy Conference. September 2008, Adelaide South Australia 6 p.

Thomas, C.Y. 1987. Azúcar, amenaza o desafío?; evaluación del impacto resultante del desarrollo tecnológico en las industrias sucroquímicas y del jarabe de maíz con alto contenido de fructosa. Ottawa, Ont., CIID, 147 p

Tosi A.F. M. Gaya Scandiffio, L. A. Barbosa C. 2008. innovation system in the brazilian sugarcane agroindustry. Globelics Conference at Mexico City, September 22:24 23

Trebuil, G. 1990. Principles and steps of the method of diagnosis on Agrarian Systems: A case study from Sathing Phra Area Southern Thailand. In: Farming Systems Research and Development in Thailand. Prince of Songla University, Kasetsart University y Technological Research and Exchange Grup. Thailand. pp: 29-63.

Thorburn, P.J., Archer, A.A., Hobson, P.A., Higgins, A.J., Sandel, G.R., Prestwidge, D.B., Antony G. 2006. Integrated Value Chain Scenarios for Enhanced Mill Region Profitability. Sugar Research and Development Corporation Project CSE010, 93 p. http://www.srdc.gov.au/ProjectReports/CSE010_Final_Report.pdf

Trujillo M. E. 2005. La eficiencia técnica y los rendimientos en la industria mexicana del azúcar bajo propiedad pública y privada Centro Azúcar 32(2): 73-79

Turcksin L. 2010. A Multi-Actor Multi-Criteria analysis to assess the stakeholder support for different biofuel options <http://www.vito.be/bioses/pdf/BIOSSES-MAMCA.pdf>

Uc P. 2008. El discurso geopolítico del petróleo como representación espacial dominante de la economía política internacional Argumentos UAM-X México 109. Nueva Epoca Año 21 Núm. 58 septiembre-diciembre

United States Department of Agriculture 2009, Agricultural Research Service, National Oil Crops Outlook

USAID 2008. Optimizing Economic Growth and Poverty Reduction Benefits of CAFTA-DR: Accelerating Trade-Led Agricultural Diversification, Volume II, Section 6, pp. 86-119

Valencia H., D. Vera 2009. "Diversificación de ingresos en el Área Rural: Determinantes y Características" segundo encuentro de economistas de Bolivia 29 y 30 de octubre de 2009. La Paz Bolivia

<http://www.bcb.gob.bo/webassets/file/2doEncuentroDeEconomistas/Diversificacion%20de%20ingresos%20en%20el%20area%20rural.%20Determinantes%20y%20caracteristicas.pdf>

Valverde G. A. J. 2009. Análisis de la situación económica de la industria azucarera colombiana. Trabajo de Grado para Optar por el Título de Economista Universidad Autónoma de Occidente Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas programa de economía Santiago de Cali 103 p.

Van Nostrand R. 1990. Sugar a user guide to sucrose. Edit. AVI Book. New York USA, 331 p.

Vian, C.E.F. 2003. Agroindústria canvieira: estratégias competitivas e modernização. Campinas: Átomo & Alínea,.

Vlosky R. P., F. X. Aguilar, Qinglin Wu. 2005. Demographic profile and spatial analysis of sugarcane growers in louisiana. Journal American Society Sugar Cane Technologists. 25: 157-172

Villegas J. D. Techno economic and environmental evaluation of lignocellulosic biochemical refineries. [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2421/1/JSIR%2067\(11\)%20927-940.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2421/1/JSIR%2067(11)%20927-940.pdf)

Viniegra G. G. 2007. La tecnología mexicana al servicio de la industria casos de éxito presentados en los seminarios regionales de competitividad 2005 – 2006. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. 177 p

Wagner J.E. 1993. A Measure of Economic Diversity: An Input-Output Approach Department of Agricultural Economics University of Wisconsin-Madison/Extension 20 p.

Wynne AT, MC Lyne 2004. rural economic growth linkages and small scale poultry production: a survey of producers in kwazulu-natal. *Agrekon*, 43(1):1-21

Wilson R.F. 2008. Chapter 1: Soybean: Market Driven Research Needs, Genetics and Genomics of Soybean, Springer Science+Business Media, LLC.

Windle, J. and J. Rolfe 2005. Diversification choices in agriculture: a Choice Modelling case study of sugarcane growers. *Australian Journal of Agricultural & Resource Economics* 49(1): 63-74.

Windle J., 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, pp. 1-11, <http://www.ifmaonline.org/pdf/congress/Windle%20Rolfe.pdf>

Windle, J. 2003. "Opportunities for Change in the Sugar Industry, Preliminary Results from a survey of Sugarcane Growers in Sarina, Mackay and Proserpine", Report for survey respondents, Central Queensland University, Rockhampton

Yadav and S.Solomon_R.L. 2006. Potential of Developing Sugarcane By-product Based Industries in India_sugar tech_8(2&3): 104-111.

Yamba L. 2008. Bioenergy for Sustainable Development and Global Competitiveness: the case of Sugar Cane in southern Africa, Thematic Report 3: Markets http://www.carensa.com/CARENSEA_TR3_Markets.pdf

Yuan-an Wei 2006. Status and Trends of Sugar Industry in China. Sugartech Vol.8 No.1 pp. 10-15

Yuan-an Wei, Yuan-jin Xu 2004, Eco-friendly Management of Sugar Industry Effluents in Guangxi, China, Sugar Tech 6 (4) : 285 – 290

Waclawovsky A. J., P. M. Sato, C. G. Lembke, P. H. Moore, G. M. Souza. 2010. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content Plant Biotechnology Journal 8:263–276

Weiss C. and Wolfgang Briglauer 2002. Determinants and Dynamics of Farm Diversification. Xth EAAE Congress 'Exploring Diversity in the European Agri -Food System', Zaragoza (Spain), 28-31 August 2002, 15 p.

Zahedi F.1987. A utility approach to the analytic hierarchy process Mathematical Modelling 9(3-5):387-395

Zimmermann B and Jürgen Zeddies 2002. International competitiveness of sugar production. 13th International Farm Management Congress, Wageningen, The Netherlands, July 7-12, 2002 Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart.

Zhu, X.; Walker, D.; Mayocchi, C. 2001. Integrating Multi-Criteria Modelling and GIS for Sugarcane Land Allocation, Proceedings of MODSIM 2001 – International Congress on Modelling and Simulation. 10–13 December, 2001. Canberra

4. Conclusiones

La falta de competitividad de la agroindustria azucarera mexicana está presente en la mayoría de los discursos y agendas de los principales actores sociales, políticos, económicos y académicos actuales. La mayoría plantea el desarrollo como vía para la solución de esos problemas. Más aún, los adjetivos “sustentable” y “competitivo” parecen hoy un concepto generalizado y una condición para la legitimación social de la idea de desarrollo de la agroindustria. Sin embargo, son muy variados y distintos los sentidos desde los cuales se conciben los problemas de la agroindustria y se plantean y abordan los diagnósticos. Cuando nos aproximamos a la problemática de las concepciones del desarrollo, se evidencia en primer lugar que se trata ante todo de una cuestión eminentemente práctica, y más precisamente política (solución política) como fue planteado en la hipótesis de este trabajo, ya que la producción de discursos con pretensión de validez social sobre el desarrollo de la agroindustria azucarera no está principalmente orientada a definir (ya sea normativa o descriptivamente) cómo es y en qué consiste el desarrollo de la misma, sino a legitimar y justificar prácticas, decisiones y formas de intervención en la realidad social y en este sentido el mercado no se concibe como vía segura para la agroindustria azucarera debido a su carácter eminentemente social y no comercial.

En su desempeño actual sólo le permitirá persistir siempre y cuando se mantenga en las mismas condiciones, lo cual se prevé que sea solamente en un plazo medio pues el campo se convierte en un lastre para la fábrica y la ineficiencia de ésta repercute en los ingresos del primero. Su competitividad a escala mundial es muy inferior a su potencial. Por ello, si estas interacciones negativas no se corrigen adecuadamente no se generaran ventajas competitivas para todo el sector agroindustrial del azúcar.

En relación con lo anterior, es posible plantear cuatro alternativas regionales a seguir en los ingenios azucareros y sus zonas de abasto para incrementar la productividad, diversificación y por resultado la competitividad:

(i) La estrategia tradicional de basarse sólo en la producción de azúcar. Esta no es una estrategia eficaz, sobre todo si se depende de los mercados de exportación. Bajo esta estrategia, no hay normalmente ningún valor agregado, salvo ser a la vez proveedor de melazas; 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 del dulce y su capacidad de campo con objetivo de aumentar su rentabilidad.

(ii) 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 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 etc.)

(iii) 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 estuvieran a la baja. Cuando los mercados se saturen de azúcar, los precios desciendan y los mercados de etanol emerjan, la industria dejará de capitalizarse. Esta alternativa podría ser adecuada para ingenios que poseen destilería como, Calípam, Casasano, Aarón Sáenz, El Mante, El Potrero, La Providencia, etc.

(iv) Producción de azúcar y etanol en proporciones flexibles. En este escenario, el azúcar 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 Constanca, Tamazula, Pujilic y San Nicolás.

Bajo estos escenarios, siempre utilizando el bagazo como combustible, podría haber un impacto positivo en la viabilidad económica de la agroindustria de la caña de azúcar a través de la diversificación productiva y puede ser una oportunidad para los mercados regionales.

Los instrumentos metodológicos durante el periodo analizado (zafras 1999/2000 a 2009/2010), permitieron jerarquizar a escala mundial, nacional, regional y local, los elementos de la competitividad integrando todos los factores productivos, y han logrado determinar que para los ingenios considerados competitivos no hubo cambios significativos en la posición relativa de las empresas en sus indicadores de campo y fabrica. Las empresas que eran relativamente más vigorosas al inicio del período mostraron una mayor capacidad de adaptación y aumentaron la distancia que las separaba de las empresas situadas más abajo en la escala productiva, es decir, para este grupo la industria reaccionó ampliando su capacidad de producción. En este sentido, la materia prima tuvo un peso significativo en la productividad y en la capacidad para diversificar la agroindustria

(campo, fábrica), y gran parte de sus atributos de calidad condicionan la competitividad del sector agroindustrial.

Por lo tanto, los factores de producción sobre los que las regiones cañeras e ingenios basan su competitividad son la disponibilidad de materia prima al disponer de tierra cultivable de caña, el clima y la mano de obra barata. Esto implica una ventaja comparativa pero no competitiva.

En el caso de la agroindustria azucarera de la Huasteca, esta representa la realidad mexicana: *el uso masivo o socializado de la agricultura cañera, el creciente deterioro de los suelos, deforestación, salinización, compactación, erosión, pérdida de materia orgánica por la cosecha con quema de cañaverales, la gran dependencia de recursos externos (combustible, fertilizante, pesticidas, herbicidas, maquinarias), la cada vez menor respuesta productiva a los fertilizantes y el aumento de plagas y enfermedades por el rompimiento de las cadenas naturales y la extendida práctica del monocultivo con variedades en ciclo resaca, los cambios climáticos y de los sistemas de vientos por la deforestación*, que figuran entre los muchos efectos negativos y el costo ambiental de la llamada agricultura convencional cañera; con el ejido como una estructura ineficiente de tierras, que para finales del siglo XX comenzó un desplome generalizado y en la zafra 2009/2010 presentó los indicadores más bajos de su historia reciente; por lo tanto, el modelo de producción cañera o paradigma ideológico tecnológico ha fracasado; presenta colapso o ruina como beneficio social y los cuatro ingenios de la zona: Alianza Popular, San Miguel Naranjo, Plan de Ayala y Plan de San Luis (certificados en sus procesos) no muestran su potencial productivo debido a la baja calidad y cantidad de materia que inclusive se cultiva por debajo del umbral económico (40 t/ha).

En este sentido, la agroindustria azucarera de la Huasteca presenta una larga historia derivada del uso de la tierra como factor de producción y poder político; y al transitar desde la colonia para satisfacer las necesidades del mercado nacional y europeo y la explotación minera de la Nueva España, con un modelo de producción basado en la fuerza de trabajo (economía precapitalista de tipo primario), a otro caracterizado por la incorporación de maquinaria industrial durante el porfiriato, pero ambos con la característica del despojo de tierras hasta la década de 1970.

El periodo postrevolucionario (Ley agraria de 1937) que dotó a los campesinos de tierras con la creación de la institución del ejido y los decretos cañeros de 1943, 1974, 1975, 1981 y 1991 que establecieron la relación entre industriales y productores y específicamente en lo que se refiere a las zonas de abasto y el pago de la materia prima (por cantidad o calidad de la caña de azúcar, rendimiento de fábrica o precio de venta del azúcar); los primeros decretos lograron la gran modificación estructural de la agroindustria azucarera con la liquidación de la unidad empresarial ingenio-hacienda cañera; los tres factores productivos se separaron y quedan definidos en su individualidad e intereses: el capitalismo industrial, el obrero industrial asalariado y el campesino productor de caña de azúcar; el resto de los decretos y la actual legislación: Ley de Desarrollo

Sustentable de la Caña de Azúcar de 2005 han logrado subordinar el campo cañero y a los productores a la agroindustria (ingenios) vía las organizaciones cañeras CNC y CNPR con la promesa de hacerlos partícipes de los "beneficios" derivados de la riqueza de la caña, un mercado seguro, acceso a créditos, subsidios, seguridad social (IMSS) y para garantizar la estabilidad social sin considerar la productividad y la calidad del producto final; determinaron la omnipresencia del estado en las decisiones de la agroindustria (precio de liquidación, precio del azúcar, investigación etc.) pero no han logrado revertir los añejos problemas y son incapaces de responder a las necesidades actuales y pareciera que el sector cañero entro en una parálisis.

Esta tesis resulta contundente para todas las regiones cañeras de México, y en especial para la Huasteca, ya que a la hora de tomar la decisión de modernizar la fabrica o el campo, para incrementar la producción de azúcar (producto básico para la población), el estado en su etapa de dueño de la agroindustria o los ingenios optaron por abrir nuevas tierras al cultivo de caña ampliando la frontera agrícola con un alto impacto ambiental, esta es la razón por la que la Huasteca se incorporo extensivamente a la producción del dulce en la industria nacional durante la década de 1960, por lo que este nuevo sistema productivo ha demostrado la existencia de una transformación inicial y compleja en la zona que repercute directamente en los niveles de productividad existentes en los cuatro ingenios. En este sentido, el campo cañero de la Huasteca presenta las siguientes características:

Fragilidad y vulnerabilidad a los cambios del entorno (plagas, enfermedades, sequías etc), sin capacidad de adaptación derivado de cultivos estresados, sin renovación varietal y practicas innovadoras de mantenimiento del cultivo (abonos organicos, cosecha verde, acolchados, agricultura de presicion etc y se mantiene a la incertidumbre de las pre y liquidaciones finales

El campo se encuentra fragmentado (minifundio), desintegrado, improductivo y sobreexplotado caracterizado por una agricultura de supervivencia altamente impactante al ambiente

Para la pregunta de investigación: **¿Es competitiva la agroindustria azucarera de la Huasteca ?** Solamente el 48.7 % del campo cañero y el 50 % de los ingenios presenta esta característica, el resto se encuentra a la espera de mejores condiciones o la supervivencia a los factores limitantes: acceso al agua, clima y el índice de sequia que as u vez explican el 75.7 % de la productividad. Para los ingenios azucareros la capacidad para diversificar su producción base esta determinada rendimiento de fabrica, proyectos de diversificación ya establecidos y la calidad de la caña (78 %). La capacidad para diversificar las zonas cañeras es explicada (78 %) por la aptitud al cultivo, rendimiento de campo y el tamaño del predio

Aunque existen diversas opiniones en cuanto a lo que se debe hacer en la nueva agroindustria de la caña de azúcar del siglo XXI a nivel nacional, regional y local en la búsqueda de la sostenibilidad y competitividad (disminuir los costos de

producción de la caña de azúcar, adecuar el marco regulatorio, limitar la extensión de tierras cultivadas, mantener las factorías más productivas, compactar las mejores tierras de los ingenios vecinos, cerrar los ineficientes ingenios reconvirtiendo las tierras a otros cultivos, promover la investigación, la innovación tecnológica y nuevas prácticas agrícolas, así como mejorar sustancialmente la infraestructura de riego y el drenaje agrícola, renegociar las cláusulas del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, diversificar el uso de la caña de azúcar, garantizar certidumbre política, económica y social; este trabajo logro demostrar que los factores limitantes a la competitividad (productividad, diversificación) bajo las condiciones actuales a escalas regional y local (zonas de abasto) son en orden de importancia: ***Aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar, Rendimiento de campo y Tamaño de la unidad productiva o Superficie cañera***

Sin embargo, la caña de azúcar solamente se cultiva en el 49 % de la totalidad de la zona cañera de mayor aptitud de la Huasteca y el rendimiento de campo es resultado de una serie de factores físicos (climáticos, edafológicos etc.) y biológicos la mayoría de ellos controlables, modificados o minimizado 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). Sin embargo, las fuerzas económicas que limitan las posibilidades derivadas del ***Tamaño de la unidad productiva***, como condicionante socioeconómica a la competitividad, establecen que las pequeñas escalas de producción para el cultivo de caña de azúcar (plantación agroindustrial), generalmente de tipo ejidal, se asocian con lotes de costos altos y poco competitivos, ya que no tienen capacidad para aprovechar las ventajas comparativas (aptitud agroclimática) y las que se derivan de la producción en masa, y operan, por lo tanto, con rendimientos decrecientes en sus funciones de producción por debajo de la frontera de eficiencia.

En una época en que la agroindustria azucarera debería estar incrementando su productividad; el sistema de pago de la caña hace muy poco hincapié en la calidad (este sistema de pago por tonelaje es lo que protege a los ejidatarios de la completa pérdida de sus parcelas, pero de todas maneras les mantiene en la pobreza) y factores políticos como el ejido (concebido como sistema de control político y estabilidad y bienestar social por decreto presidencial) hacen que forzosamente los cañeros se vean obligados a cultivar y vender toda su producción manejados por las organizaciones (CNC y CNPR), independientemente de la calidad (mayor contenido de sacarosa y menor fibra) cuyos intereses políticos y económicos, derivados de las cuotas por tonelada de caña, se ven cristalizados al convertir vía la fragmentación y subdivisión de tierras el mayor número posible de agremiados y sus familias a la organización cañera con la promesa del IMSS (seguridad social) y la pensión a pesar de dichas organizaciones son totalmente ineficientes para expresar los intereses estrictamente gremiales de los cañeros

Así tienden a sesgar su desempeño como organizadoras de la producción (ejido como su dominio económico y político mediante el intermediarismo) sin que existan nuevas formas de organización que podrían desde luego establecer economías de escala y como resultado incrementos en la productividad y la disminución de costos; ya que la mayoría de la tecnología agrícola cañera es mas adecuada para las parcelas grandes, y la economía de las pequeñas unidades significa que tecnologías como arados de bueyes tienen ventaja frente a los tractores así como la cosecha con quema a machete frente a la verde y mecanizada, y dificultan la planeación de la siembra y la renovación de cañaverales, obtención de avío, fertilizantes, agua, plaguicidas, traslado de equipo agrícola y el manejo de la mano de obra coordinada en un estado de estancamiento productivo.

Por ende paradójicamente, el minifundio cañero, concebido en el discurso como medida para impedir el empobrecimiento, hoy por hoy esta profundizando la pobreza del ejido; por lo que esta institución en el seno de la agroindustria azucarera deberá reestructurarse, no como la única forma de tenencia de tierras junto a la propiedad privada; sino además considerarse como una sociedad autónoma o cooperativa, los convierta en sujetos de crédito y capaces de absorber recomendaciones tecnológicas para incrementar la productividad mediante la lotificación que permitiría el uso óptimo del equipo agrícola y reducir los costos de cosecha, plantar la misma variedad en superficies mas grandes conforme a un calendario que permitiera coordinar la cosecha entre el mayor número posible de parcelas para disminuir frentes de corte. Esto también mejoraría el abastecimiento de fertilizantes, plaguicidas y agua para la caña. Por lo tanto, si no se corrige la excesiva fragmentación de tierras el problema seguirá existiendo y agravándose día a día y junto a los factores limitantes del cultivo y los ingenios encontrados en este trabajo se prevé el colapso de la agroindustria en el corto plazo.

Por lo que la agroindustria azucarera, requiere forzosamente un modelo de desarrollo, no un espejismo de la tendencia a producir solo lo que Estados Unidos no es autosuficiente y México podría exportar como lo plantea el PRONAC 2007-2012; es decir, se requieren soluciones reales (estrategias al interior) 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 (Figura 4.1)

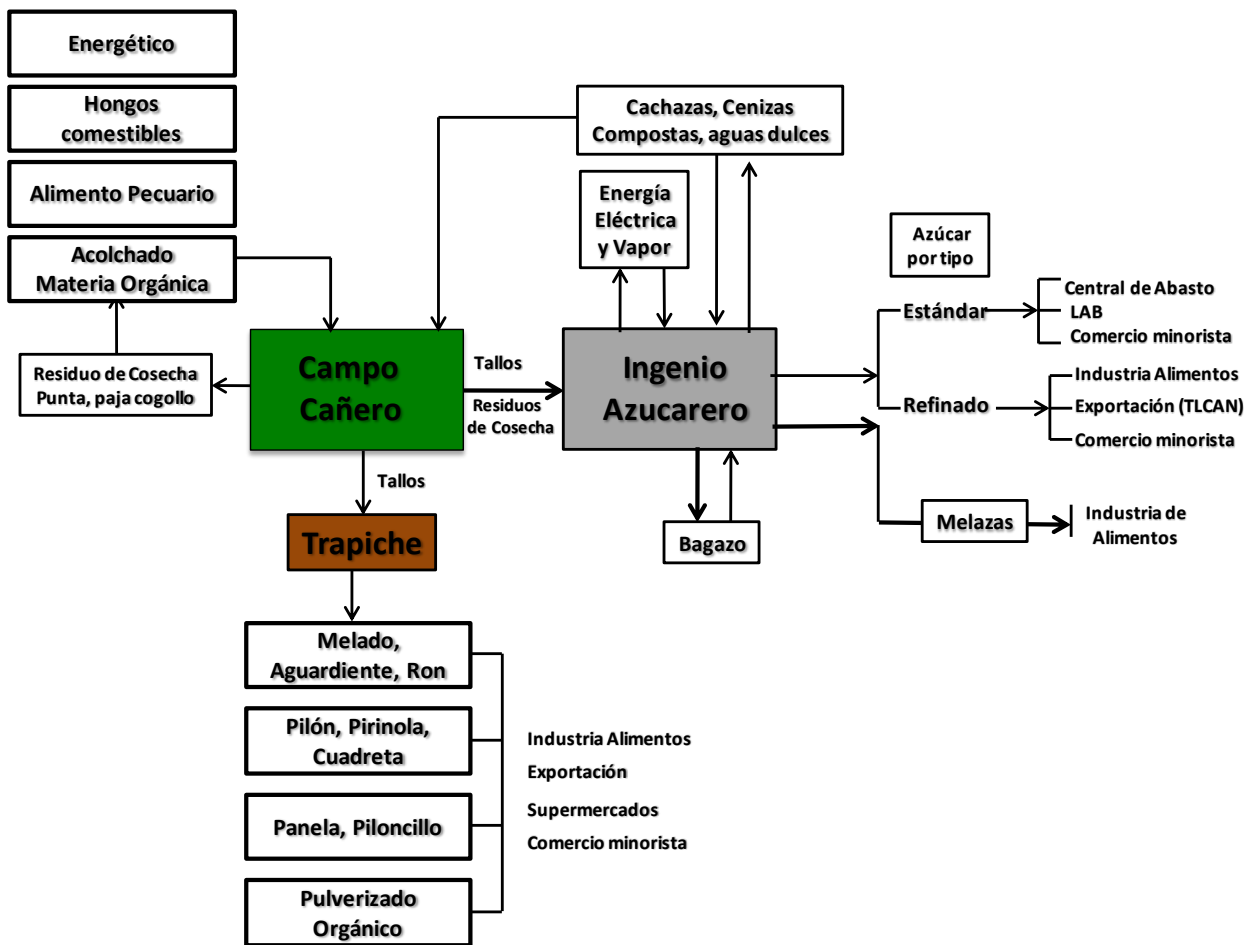


Figura 4.1. Proyectos regionales en caña de azúcar

Estos proyectos junto a otros que permitan en el corto plazo ser autosuficientes en las áreas de alimentos, energía y combustibles (azúcar, cogeneración y etanol) representan los pasos iniciales que debe seguir este sistema agroindustrial para transitar de un modelo histórico estructural, a otro por medio de una transformación en sus paradigmas de competencia, con el fin de adaptarse a las nuevas condiciones ambientales y de mercado basados en el concepto de biorrefinería:

Lotificar zonas cañeras por ambientes productivos, conservando los derechos de propiedad de los ejidatarios y/o propietarios para disminuir costos derivados de la cosecha y la logística del transporte (en México el 75 % del costo para producir una tonelada de azúcar se deriva del campo y principalmente de la cosecha así como ser la principal fuente de impactos ambientales) e implementar la mecanización. Así la tierra como factor productivo se convertiría en el principal activo que redundaría en incrementar la productividad.

Implementar la agricultura de precisión para el manejo de la variabilidad por sitio específico, gestión de plagas y enfermedades, logística de cosecha y transporte

Eliminación paulatina de la quema para el uso de la paja cañera en proyectos de diversificación como energético en proyectos rurales para la minimización de GEI's, producción de hongos comestibles (fuente de proteína) o bien dejándose en el campo para incrementar la materia orgánica del suelo y como acolchado cañero que a su vez permitirá evitar la pérdida de humedad, materia orgánica y reducir la incidencia de plagas cañeras

Desarrollo de variedades para diversos ambientes agroecológicos, para evitar depender de tan solo pocas variedades extranjeras y así reducir la vulnerabilidad y el riesgo a enfermedades

Establecer programas de diversificación en la unidad productiva, sin disminuir la entrega de caña al ingenio para la producción de azúcar, mediante la reconversión de trapiches rústicos en trapiches tecnificados y en establecer sinergias con los sistemas ganaderos que permitan el empleo del residuo de cosecha de forma integral o mediante técnicas de ensilaje, predigestión prehidrolisis o enriquecimiento proteico.

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

Creación de clusters o concentración agroindustrial

Llevar a cabo estudios multidisciplinarios que incluyan técnicas de cartografía participativa

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

En este trabajo se logro demostrar que la productividad de la agroindustria azucarera, como factor limitante de la diversificación y su multifuncionalidad (alimentos, energéticos, fibras, función medio ambiental y rural entre otros), como actividad económica estructurante, puede generar múltiples escenarios debido a la multitud de parámetros y puntos de vista de los productores que interactúan a menudo impredecibles y antagonicos; que trae como consecuencia en sus fundamentos teóricos problemas metodológicos importantes para su abordaje, con el fin de crear alternativas y facilitar sus procesos de decisión y ejecución en un determinado lugar.

Por lo que es necesario tener un enfoque menos reduccionista, como todo fenómeno físico y biológico, para la constante innovación y desarrollo tecnológico, basado en conocimientos ciertos y contextualizados, lo cual implica abandonar los paquetes tecnológicos que muchas veces fomentan tanto académicos, políticos y profesionales del sector, y que en el fondo no dejan de ser una apología a un

pensamiento reduccionista que no permite abordar la verdadera complejidad de la agroindustria azucarera (producción de caña de azúcar y derivados agroindustriales) y debe realizarse un trabajo interdisciplinario para abordar el estudio de la agricultura cañera, como punto de partida hacia la competitividad; cuya complejidad abarca entre otras cosas, la biología molecular, las relaciones suelo-planta, las diferentes tecnologías de producción de caña de azúcar y el ambiente, el impacto sobre los sistemas sociales y la integración de la agricultura cañera descentralizada de conceptos políticos.

Su análisis para encontrar alternativas para alcanzar la competitividad debe ser un trabajo interinstitucional continuo sin descalificar disciplinas o puntos de vista radicales o positivistas y aun paternalistas o populistas, ya que ninguna institución por si sola puede abarcar todas las dimensiones disciplinarias y temáticas que deben integrarse para proponer y establecer políticas alternativas de desarrollo y competitividad dentro del contexto económico y social en que se desarrolla la agroindustria azucarera regional. Es fundamental analizar y generar proyectos de investigación integrales, por los factores que intervienen como sistema de producción regional.

De lo anterior se infiere que potencialmente existen tantos proyectos de diversificación, como posibles combinaciones entre factores existan; y que sería infructuoso tratar de explicarlos a todos en forma detallada, razón por la cual se debe abandonar la idea que existen recetas tecnológicas que al aplicarlas llevarán a obtener el anhelado estado de competitividad mediante la productividad y diversificación de la agroindustria azucarera y que por el contrario, lo que es necesario es que profesionales, líderes cañeros, gobierno, empresarios e investigadores, actúen sinérgicamente para llevar a cabo gestiones e innovaciones tecnológicas para lograrlo.