



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y
MEDICINA**

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**COSTOS AMBIENTALES POR EMISIONES GEI EN EL MARCO
NORMATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR EN
LA HUASTECA POTOSINA**

PRESENTA:

ERIKA HERMINIA ARREDONDO GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

MARCOS ALGARA SILLER

ASESORES:

NOÉ AGUILAR RIVERA

JAVIER FORTANELLI MARTÍNEZ

Agosto 2016

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

AGENDA AMBIENTAL – FACULTAD DE INGENIERÍA

CON FINANCIAMIENTO DE:

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACyT)

A TRAVÉS DEL PROYECTO DENOMINADO:

**COSTOS AMBIENTALES POR EMISIONES GEI EN EL MARCO
NORMATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR EN
LA HUASTECA POTOSINA**

**AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-
TESIS**

Becario No. 622309

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO
ATRAVÉS**

**DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD
(PNPC)**

Econ. Erika Herminia Arredondo García

Descargo

La información en el presente trabajo de investigación debe ser usada de manera integral. El autor de la tesis y su director no se hacen responsables del uso que terceras personas puedan hacer de los contenidos de este documento.

AGRADECIMIENTOS

Al universo y a las fuerzas superiores que me han regalado vida, amor y satisfacciones.

A mis padres a quienes amo con todo mi ser por darme su amor y apoyo incondicional: han dado frutos.

A mi hermana por su amor, consejos y los mejores ejemplos de vida, soy feliz de que seas mi hermana.

A Omar por su amor, sabiduría y mucha paciencia, tu compañía es uno de los mejores placeres de mi vida.

A David por su infinita paciencia conmigo y su enorme apoyo a este trabajo de investigación. Me brindaste comprensión y hospitalidad desde el día de conocernos y si ha de existir ésta tesis y si la he terminado es principalmente gracias a ti. Gracias por las ideas, las largas tardes de asesoría, tu aportación y tu amistad, esta tesis también es tuya.

A mi director de tesis, el Dr. Marcos Algara Siller quien me brindó principalmente esperanzas en lograr este trabajo. Gracias por sus ideas, sus aportaciones y conocimientos. Estoy agradecida de que sea usted mi director.

A mi sinodal Benjamín Rontard, por sus asesorías; siempre disponible para mis dudas, por sus puntuales observaciones, correcciones y conocimiento. Siempre al pendiente de mi trabajo. Ha sido una enorme gratitud trabajar contigo y espero en un futuro seguir colaborando.

A mi asesor, el Dr. Javier Fortanelli, tuve el honor de que fuera mi profesor, y a pesar de los retos, gracias a usted sé valorar el esfuerzo de un trabajo bien hecho. Gracias por sus detalles minuciosos al momento de correcciones, no únicamente en este trabajo, sino también durante toda la maestría.

A mi asesor, el Dr. Noé Aguilar quien con gran paciencia me ayudó en la explicación de conceptos, dinámicas, procesos; todo relacionado con el sector cañero. Valoro su pasión por sus trabajos con la caña de azúcar; me motivó enormemente para finalizar esta investigación.

A mis compañeros y amigos de la maestría, principalmente Gus, Héctor, Nadine, Neri: aunque estuviera lejos de casa, estaba en familia y a Pati quien los últimos días se convirtió en una hermana para mí.

A mis profesores anteriores Dr. Carrera, Dra. Bustillos, Dra. Kochi, Dra. Ronquillo quienes me motivaron a continuar con la generación de conocimiento en la perspectiva económica ambiental y ecológica: seguiré en ello.

Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 10 |
| 1. La Agroindustria de la caña en México y en la Huasteca potosina..... | 13 |
| 1.1 Características fisiológicas de la planta de caña de azúcar..... | 14 |
| 1.2 Características agrícolas para la producción de caña como materia prima | 15 |
| 1.3 Historia de la caña de azúcar en San Luis Potosí..... | 24 |
| 1.4 El mercado de la caña de azúcar: la situación económica actual..... | 31 |
| 1.5 Dificultades de la caña de azúcar: justificación de estudio y la competencia de los edulcorantes..... | 46 |
| 1.5.1 Jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF)..... | 48 |
| 1.5.2 Grupo de alimentos “No Calóricos”..... | 49 |
| 1.5.3 La producción orgánica de la caña de azúcar..... | 50 |
| 2. Referencias de valoración ambiental..... | 56 |
| 2.1 Impuestos pigouvianos..... | 63 |
| 2.2 Herramientas de evaluación ambiental..... | 64 |
| 2.3 Huella Ecológica..... | 65 |
| 2.4 Contabilidad nacional de recursos naturales..... | 66 |
| 2.5 PIB Verde..... | 67 |
| 2.6 Valoración ambiental en el sector cañero..... | 68 |
| 3. Análisis del marco jurídico del sector cañero..... | 71 |
| 3.1 México y los acuerdos internacionales: Sustentabilidad y Cambio Climático.. | 72 |
| 3.2 Metodología Top Down-Bottom Up en el marco legislativo del sector cañero. | 74 |
| 3.3 <i>Top Down</i> : la Legislación sobre Cambio Climático..... | 76 |
| 3.3.1 Los estatutos de las Leyes en materia de Cambio Climático y mitigación de gases GEI en México..... | 76 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.2 Sobre los reglamentos de acuerdo a las leyes sobre Cambio Climático y mitigación de gases GEI en México | 82 |
| 3.3.3 Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) relacionadas con el Cambio Climático y mitigación de gases GEI en México..... | 85 |
| 3.4 Top Down: la legislación sobre el Desarrollo Rural Sustentable | 93 |
| 3.4.1 Los estatutos de las leyes en materia de la producción de caña de azúcar en México..... | 93 |
| 3.5 Contradicciones (Bottom Up) de la legislación Rural Sustentable y Cambio Climático..... | 110 |
| 4. Modelado y análisis de costos ambientales | 115 |
| 4.1 Metodología para el análisis de costos ambientales: aplicación del modelo de Spadaro..... | 116 |
| 4.2 Clasificación de gastos derivados de la producción de caña: el caso de San Miguel del Naranjo, San Luis Potosí | 132 |
| 4.3 Resultados del modelado | 140 |
| 5. Alternativas para el impulso de la producción sustentable en el sector cañero | 147 |
| 5.1 Programas internacionales para la mitigación de emisiones GEI..... | 148 |
| 5.1.1 Bonos de carbono por parte del Banco Mundial | 148 |
| 5.1.2 Bolsa del Clima | 149 |
| 5.1.3 Mecanismos de desarrollo limpio (MDL's)..... | 151 |
| 5.1.4 Sumideros de carbono | 153 |
| 5.1.5 Proyectos de pequeña escala | 154 |
| 5.1.6 Acciones de Mitigación Nacionales Apropriadas (NAMA's)..... | 154 |
| 5.2 Uso de energías limpias: el caso del etanol y la cogeneración | 157 |
| 6. Discusión sobre el sector cañero para la producción sustentable de la caña . | 166 |
| 7. Conclusiones y trabajos futuros | 172 |

| | |
|-------------------|-----|
| Bibliografía..... | 177 |
| Anexos..... | 188 |

Índice de figuras, gráficos, mapas, tablas, ecuaciones y anexos

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar..... | 18 |
| Figura 2. Diagrama de producción y transformación de la caña.. | 38 |
| Figura 3. Comportamiento de costos..... | 117 |
| Figura 4. Tipos de costos. | 118 |
| Figura 5. Pasos de metodología, modelo original Spadaro, 1999. | 124 |
| Figura 6. Pasos metodología adaptada para caso de estudio..... | 125 |
| Figura 7. Árbol de decisiones aplicables para el cálculo de emisiones de metano y óxido nitroso por quema de residuos agrícolas. | 126 |
| Figura 8. Principales derivados de la caña de azúcar, clase uno..... | 160 |
| Figura 9. Coproductos y productos finales derivados de la caña de azúcar, clase 2 y 3..... | 161 |
| Figura 10. Volumen de control del sistema de cogeneración. “Análisis y optimización energética de una planta de cogeneración para la industria azucarera”..... | 163 |
| Figura 11. Áreas dimensionales de la dinámica de la caña de azúcar en México. | 171 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Área sembrada (ha) destinadas a caña de azúcar en México, periodo 1990-2013..... | 33 |
| Gráfico 2. Volumen de producción de caña de azúcar (ton) en México, periodo 1985-2013..... | 34 |
| Gráfico 3. Precio por tonelada de caña neta 2008-2015. | 35 |
| Gráfico 4. Exportaciones totales de caña de azúcar por año a nivel nacional..... | 37 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 5. Consumo nacional aparente de edulcorantes: JMAF y azúcar (t/%), ciclos 2003/04 a 2012/13..... | 49 |
| Gráfico 6. Comportamiento de las concentraciones de metano por AGEB, en el municipio de El Naranjo, SLP. 24 de abril del 2011.. | 132 |
| Mapa 1. Principales municipios azucareros del estado de San Luis Potosí..... | 43 |
| Mapa 2. Localización de San Miguel del Naranjo, SLP. | 129 |
| Mapa 3. Ubicación de concentración urbana de El Naranjo..... | 130 |
| Mapa 4. Clasificación de AGEBs con clave y entre paréntesis población total en mancha urbana de la cabecera municipal de El Naranjo, SLP, 2010..... | 131 |
| Mapa 5. Comportamiento del Riesgo Relativo en los AGEBs del Naranjo..... | 142 |
| Tabla 1. Variables de crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar..... | 18 |
| Tabla 2. Publicaciones sobre producción de caña orgánica en México. | 54 |
| Tabla 3. Número de personas para iniciar fuego, según extensión de hectáreas. 91 | |
| Tabla 4. Población considerara para el cálculo de RR..... | 122 |
| Tabla 5. Niveles de exposición a metano y efectos..... | 123 |
| Tabla 6. Clasificación de los costos promedio por actividad en el cultivo de la caña por ciclo, caso de estudio. | 137 |
| Tabla 7. Resumen de parámetros estadísticos por variables..... | 138 |
| Tabla 9. Tabla de resultados de nivel de incidencia: Riesgo Relativo..... | 141 |
| Tabla 10. Resultados de conversión de emisiones de metano a emisiones de dióxido de carbono. | 143 |
| Ecuación 1..... | 45 |

| | |
|---|-----|
| Ecuación 2..... | 117 |
| Ecuación 3..... | 118 |
| Ecuación 4..... | 119 |
| Ecuación 5..... | 120 |
| Ecuación 6..... | 120 |
| Ecuación 7..... | 120 |
| Ecuación 8..... | 121 |
| Ecuación 9. Cálculo para Riesgo Relativo..... | 122 |
| Ecuación 10. Cálculo de Riesgo Relativo adaptado al caso de estudio. | 123 |
| Ecuación 11..... | 139 |
| Ecuación 12..... | 139 |
| Ecuación 13..... | 140 |
| | |
| Anexo 1. Encuesta a cañeros..... | 188 |
| Anexo 2. Metodología IPCC para concentraciones de metano | 198 |

Introducción

La producción de caña de azúcar enfrenta nuevos retos en su continuación dentro del mercado. Principalmente los retos tienden a ser de un carácter ambiental. La denominación de *costos ambientales y externalidades negativas* trae nuevas incertidumbres sobre la valoración física y monetaria del efecto externo que pudiesen estar ocasionando.

El siguiente trabajo tiene como objetivo dimensionar el impacto que provoca la inclusión de los costos ambientales derivados de las externalidades negativas de las emisiones GEI generadas de la producción de caña de azúcar en la región norte de la Huasteca Potosina. También se realiza un análisis el marco jurídico enfocado al impulso de la producción sustentable en el campo y mitigación de emisiones GEI. Este trabajo maneja la hipótesis de que el efecto de las emisiones GEI derivado de la producción de caña de azúcar como externalidades negativas representa un impacto negativo en el medio ambiente de la región. Este impacto debe de ser considerado dentro de los costos de producción de caña de azúcar. Además, las autoridades encargadas de contribuir en el impulso de la producción sustentable en el sector cañero, no han considerado dentro del marco jurídico la incorporación de los costos ambientales, ni ha dado los suficientes incentivos y económicos ni herramientas para la participación del sector en programas de mitigación de emisiones GEI para la resolución de los gases generados dentro de la producción de caña.

Por lo tanto, el marco institucional deberá de incorporar el impacto por medio de los costos ambientales de las emisiones GEI dentro del rediseño de las políticas y programas, para la mejora en la gestión y puntualidad de la toma de decisiones en el sector cañero, para la prevención problemas de salud que se derivan de la dinámica de producción en el sector y para el resguardo a largo plazo de los recursos naturales usados en el campo y agroindustria azucarera.

La propuesta de este trabajo se basa en un modelo adaptado para calcular los costos ambientales por emisiones de metano y cálculo de nivel de incidencia por

concentraciones de metano, modelar una función económica de Costos Sociales (costos totales de producción) considerando la inclusión del costo por externalidades negativas. Por lo tanto, se compara las variaciones del escenario sin externalidades negativas y el escenario con externalidades negativas, así como la evaluación del marco jurídico enfocado a la producción sustentable agrícola relacionada con la mitigación de las emisiones GEI en México y en el estado de San Luis Potosí. Por último, proponer mejoras para la producción de caña de azúcar con cosecha en verde (mitigación para las emisiones GEI) para la región cañera bajo estudio.

El siguiente trabajo se conforma de cinco capítulos: el primer capítulo presenta una breve introducción de cómo es el proceso de producción de la caña de azúcar en la Huasteca Potosina, además de un esbozo de sus antecedentes históricos y los nuevos retos ambientales que presentan. El segundo presenta el marco teórico de los modelos de valoración ambiental dentro de la teoría económica y de la práctica transnacionales y la justificación e importancia de realizar esta investigación. El tercero capítulo expone el método “*Bottom up-Top down*” para la evaluación a políticas públicas, reglamentos y normas nacionales que se encargan de la producción en el sector azucarero, así como programas y acuerdos internacionales con respecto a la mitigación de emisiones GEI. La intención es enfocarse en el análisis de las políticas que estén apuntadas a la producción sustentable en el campo, el cambio climático y al ámbito azucarero en México, y particularmente en San Luis Potosí. El cuarto capítulo es acerca de la metodología para la estimación monetaria a partir del modelo usado en CEPAL para fuentes puntuales de contaminación por las emisiones gases de efecto invernadero (GEI) de Spadaro (1999), y el costo que se asumen a las externalidades negativas. Con lo anterior, se introducen a un modelo económico de Costos Totales para el caso de la producción de caña de azúcar. El quinto capítulo habla sobre las alternativas para el impulso de la producción sustentable en el sector cañero, hablando un poco sobre programas y certificaciones internacionales tal es el caso de las NAMA's o de los MDL's y también sobre la cogeneración y el caso de producción de etanol. A continuación se entabla la discusión a raíz de los resultados y

propuestas y se cierra con conclusiones y posibles trabajos posteriores a las preguntas abiertas de esta tesis.

1. LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA EN MÉXICO Y EN LA HUASTECA POTOSINA

1.1 Características fisiológicas de la planta de caña de azúcar

La zona Huasteca Potosina, ubicada al sureste del estado, se conforma por los municipios de Aquismón, Axtla de Terrazas, Ciudad Valles, Coxcatlán, Ébano, El Naranjo, Huehuetlán, Matlapa, San Antonio, San Martín Chalchicuautla, San Vicente Tancuayalab, Tamasopo, Tamazunchale, Tampacán, Tampamolón Corona, Tamuín, Tancanhuitz, Tanlajás, Tanquián de Escobedo y Xilitla. La zona colinda con los estados de Tamaulipas al norte, Hidalgo y Querétaro al sur, al este con Veracruz y al oeste con los municipios de Alaquines, Cárdenas, Ciudad del Maíz, Rayón y Santa Catarina. El total de su extensión territorial abarca 11, 409.5 km², lo que representa el 18.31% de la superficie del estado (Secretaría de Desarrollo Econ., 2014).

Las características físicas pertenecen a un tipo cárstico que se constituye de una porción de la Sierra Madre Oriental y se extiende hasta Rio Verde, Ciudad del Maíz. En ella se presenta la influencia de ríos, con suelo compuesto de sedimentario y cerca de Tamasopo un suelo rocas calizas y lutitas que se refleja en la vegetación principalmente selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia y, marginalmente, bosque de encino. Además se producen depresiones, es decir, dolinas, y existe presencia de grutas e infiltraciones del agua al subsuelo (agua subterránea) (SEGAM, 2014).

A la orilla este del estado, las superficies son onduladas con algunos conos basaltos y al poniente la frontera se marca dónde termina la Sierra Madre Oriental e inicia la transición entre la zona huasteca y la zona centro del estado.

El clima que se presenta en la región Huasteca es subtropical y tropical, cálido húmedo con lluvias durante el verano: con la clasificación de Köppen¹, que se basa en los parámetros de temperatura, precipitaciones anuales y mensuales, además de la estacionalidad de la precipitación, se puede decir que la clasificación es principalmente Aw, Am y variantes A(C), o C(A). La vegetación corresponde a selva mediana subperennifolia, bosque de encino con epífitas en sus ramas (como

¹ <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>

indicador de humedad captada), con presencia de liquidámbar y *Quercus affinis*, selva baja caducifolia que en su caso, la mayoría ha sido sustituida por pastizales para pastoreo.

Las precipitaciones se presentan con mayor fuerza entre los meses de junio a octubre. En la parte central de la Sierra Madre Oriental en el transecto de Tampico a San Luis Potosí, encontramos bosque de encino, principalmente bosque con predominio del género *Quercus*. Esta es una zona que hace más de 70 millones de años emergió del mar, generando plegamientos que son un factor importante para el efecto de lluvia orográfica que se da en esa zona (SEGAM, 2014).

1.2 Características agrícolas para la producción de caña como materia prima

La caña de azúcar es una planta de gran adaptación a diferentes tipos de suelo con texturas arcillosas; de alta o baja profundidad, de mala o buena fertilidad, de pH ácidos hasta alcalinos y hasta de topografía quebrada, siendo los suelos feozem, cambisol, acrisol, vertisol, regosol y livisol la mayoría del total de área cañera. Además posee elevada capacidad de extracción y remoción de nutrientes del suelo, rápidamente agota los suelos por lo que es necesaria su fertilización adecuada para su buena producción, dependerá de la forma topográfica del suelo el drenaje del agua por lluvia del suelo si éste es susceptible a inundaciones, sobre todo si el sitio de siembra presenta precipitación frecuente e intensa (James 2004 por Aguilar-Rivera 2011).

La incorporación de materia orgánica al suelo, ayuda a mantener una adecuada estructura del suelo, agregando propiedades físicas e hidrofísicas que son benéficas para el intercambio gaseoso e hídrico de la planta y liberación de nutrientes asimilados por la caña por medio de la mineralización, para ello, la capacidad de intercambio catiónico del suelo es importante así como el contenido de nutrientes en él. Los principales nutrientes que determinan el desarrollo de la caña son Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), tal como lo explica Aguilar-Rivera (2011):

“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 es 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.”

***Relación Carbono- Nitrógeno en la caña de azúcar**

La Relación Carbono- Nitrógeno (C/N) indica cuánto es el nivel de carbono orgánico frente al nitrógeno; cuando exista un nivel de carbono menor a nitrógeno, la descomposición de la planta será lenta y el carbono se habrá perdido como dióxido de carbono, y cuando el nitrógeno se encuentre en un nivel mayor al carbono, la actividad biológica no será la correcta debido a la transformación del nitrógeno a amoníaco. Por lo tanto, la relación N/C indica cuál es la capacidad de una planta en su eficiencia para la obtención de energía que requiere para los procesos de descomposición y mineralización. El C, actúa como el intermediario de energía, mientras que el N será el intermediario para la síntesis de proteínas. Existen diferentes niveles de relación N/C óptimos, dependiendo si se habla de la planta, materia orgánica o composta. En el caso de las plantas, el valor óptimo ronda alrededor de 10 (Flores-Serrano, 2016).

Los niveles de producción de caña de azúcar estarán relacionados con los parámetros del suelo basados en las propiedades físicas, biológicas, químicas y su relación con condiciones meteorológicas. Estas, se utilizan como punto de partida para analizar la relación carbono (C) y nitrógeno (N) (N/C) liberada durante la quema de caña de azúcar, bajo condiciones de sequía y evapotranspiración (Flores-Jiménez, 2016).

Los niveles de N/C varían de 8 a 12 cuando se considera alto, 12-15 cuando es medio y 15-30 cuando es bajo. Flores-Jiménez señala que *“hay un aumento importante en la cantidad de nitrógeno durante las prácticas agrícolas según lo recomendado por SAGARPA (2009a, 2009b, 2009c) a partir de 20 kg / ha a 190 kg / ha. (...) Las condiciones en que se produjo un aumento en el C y N liberado fueron favorecidas debido a una disminución en la cantidad de agua presente en el suelo y por lo tanto el apoyo al proceso de combustión durante la combustión de la caña de azúcar. En los años 2007, 2008 y 2010 los valores anuales de P-PET fueron mayores que el valor medio debido a un aumento de los niveles de precipitación, pero éstos no afectan de manera importante la liberación de C y N en la quema de la caña debido al aumento de hectáreas de cultivo y por lo tanto el número de acres quemados.”*

Los suelos usados en el país para el cultivo de la caña presentan un nivel promedio de nitrógeno entre 10 y 20 kg ha⁻¹, mientras que el fósforo presentó concentraciones por encima de los 30 kg ha⁻¹ y el potasio superior a los 160 kg ha⁻¹. El calcio oscila en promedio entre 2500 y 10 000 kg ha⁻¹ mientras que el magnesio se encontraba entre los 500 a los 1000 kg ha⁻¹ lo que significa un alto nivel de éstos últimos nutrientes inclusive en suelos alcalinos y calcáreos (Sentíes-Herrera, 2014). En cuanto al pH, el nivel óptimo es 6.5, aunque las cualidades de la caña, soportan niveles mayores oscilantes entre 5.0 y 8.5. En el caso de ser un nivel inferior a los 5.0 es necesaria la aplicación de encalado y si el nivel de pH supera los 9.5 es necesaria la aplicación de yeso.

La respuesta del crecimiento y rendimiento de la caña va a diferir según las condiciones a las que esté sometida, para ello, la región climática, el tipo de suelo, la variedad, los factores morfológicos, enzimáticos, ambientales, la disponibilidad del agua y la respuesta a enfermedades, entre otros factores. Por lo anterior, la caña presenta un periodo vegetativo diferible que depende de la variedad de caña que se esté manejando. Entre las variedades se encuentra: los B-35187 y Mex 68-P-23 con POJ-2878 derivados de la especie *Saccharum* spp. En sí, la caña es una de las plantas más productivas con un promedio de 45 t de masa seca por año

(ha-1), con una alta producción de hojas y tallos y su parte aérea puede producir hasta 22 t de azúcar al año (ha-1) (Aguilar-Rivera, 2011).

En resumen, el crecimiento de la caña se puede categorizar en cuatro fases: a) fase de establecimiento (germinación y emergencia de la plantilla o el rebrote de la soca y resocas y de la cual crecerán nuevos tallos –amacollado-) (30-50 días); b) fase de ahijamiento (50-70 días); c) fase de crecimiento rápido (180-220 días); y d) fase de maduración y cosecha (60-140 días) (Aguilar-Rivera, 2011).

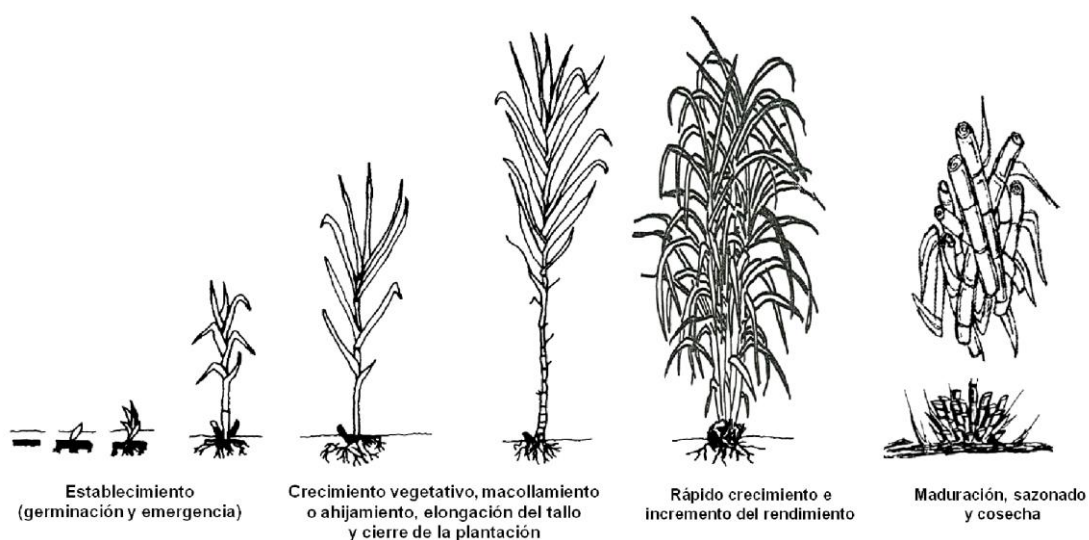


Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar. Fuente. Ficha Técnica de caña de azúcar, Aguilera-Rivera, 2011.

Cada ciclo de cosecha dura aproximadamente 10 a 12 meses dependiendo el tipo de caña que sea (temprana, mediana o tardía).

Tabla 1. Variables de crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar.

| | |
|---------|--|
| Cosecha | Para la cosecha se debe de considerar la edad de la caña y su periodo de sazonado, así como el contenido de nitrógeno y humedad. Por lo general la cosecha se realiza de manera manual o mecanizada y consiste en un corte en la base del tallo. Para la eliminación de la paja por lo general la caña es quemada y esto sólo ocurre antes de la floración (12-18 meses después de la siembra) ya que los meses de post- |
|---------|--|

| | |
|---|---|
| | florecimiento conduce a la reducción del contenido del azúcar en el tallo (Aguilar-Rivera, 2011). |
| Plantación | La preparación del suelo puede iniciarse en el periodo de octubre a enero dependiendo si la región inicia un ciclo de ausencia de lluvia (en terrenos altos), si no es el caso, las labores de preparación del suelo inicia en noviembre o diciembre como en el caso de la Huasteca que empieza entre los meses de diciembre y enero. Es importante considerar qué tipo de cosecha se usa, es decir, manual o mecanizada, para poder calcular la distancia entre surcos, varía entre 1.2 a 1.5 metros entre ellos. Para la siembra, se requieren hasta 12 t ha ⁻¹ de tallos en trozos de 60 cm de longitud a una profundidad de 15 a 25 cm (Ibid). |
| 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.” (Ibid). |
| Labores de escarda y aplicación de herbicidas | Para el control de arvenses, por lo general se aplica herbicida antes y después de la plantación en el caso de plantación. En el caso de soca y resoca, la aplicación se realiza cuando las arvenses alcanzan entre 5 a 10 cm de altura. Si no existe un control de arvenses en las primeras etapas del desarrollo de la caña, puede repercutir en la productividad entre un 10 hasta un 84% (Sentíes-Herrera, et. al, 2014). |
| Aplicación de madurantes | En ciertos casos, no es necesaria la aplicación de madurantes. Este aspecto está relacionado con el tipo de caña y con las características climáticas de la zona donde se realice el cultivo de la caña (Aguilar-Rivera, 2011). |
| Lluvia | La precipitación adecuada durante el crecimiento es entre |

| | |
|-------------------------|--|
| | <p>1500 y 1800 mm siempre y cuando la distribución de la luz sea apropiada y abundante. Para el periodo de crecimiento y maduración se recomienda que no existan lluvias ni riegos intensos, ya que produce una pobre calidad de jugo además de dificultar la cosecha y el transporte (estado húmedo del suelo). En promedio, un cultivo adecuado usará 10 mm de agua para obtener alrededor de 1 ton de caña por hectárea (Ibid).</p> |
| <p>Temperatura</p> | <p>Para el periodo de germinación, una temperatura entre 32 a 38°C será la recomendable, si está por debajo de los 25°C la germinación no será la óptima y si llega por encima de los 38°C, se detendrá. Para el ciclo de maduración, son preferibles las temperaturas relativamente bajas; entre 12-14°C ya que ayuda al enriquecimiento del azúcar dentro de la caña. Temperaturas inferiores a los 0°C producen una congelación de las partes más expuestas de la caña, como lo pueden ser las hojas y las yemas laterales (depende del tiempo de helada) (Ibid).</p> |
| <p>Humedad relativa</p> | <p>Durante el periodo de crecimiento rápido, es favorable una humedad alta que varíe entre 80-85%, en cambio, durante el periodo de maduración, una variación del 45 al 65% acompañado de una disponibilidad limitada de agua, ayudará a su óptimo desarrollo (Ibid).</p> |
| <p>Cuerpos de agua</p> | <p>La presencia de niveles elevados, pueden perjudicar al cultivo dada la eficiencia de un sistema de drenaje (Sentíes-Herrera, et. al, 2014).</p> |
| <p>Energía solar</p> | <p>La caña es una gramínea C4 sus hojas poseen dos tipos de cloroplastos lo que le permite tener elevado nivel de captación de CO₂. Su tasa fotosintética aumenta con la luminosidad alcanzando valores superiores a los 60 lux (lumen/m²), a todo esto, la caña no presenta fotorespiración</p> |

| | |
|-------------------|--|
| | aparente lo que significa que no elimina o pierde CO ₂ por las hojas y simultáneamente absorbe CO ₂ por la fotosíntesis con la vía C ₄ lo que a su vez, duplica la eficiencia del uso de agua y transpiración relativa en comparación con gramíneas C ₃ (Aguilar-Rivera, 2011). |
| Viento | Vientos superiores a los 60 km/hr en caña crecida resulta perjudicial ya que causa la tendedura y rompimiento de las cañas, además de propiciar a la pérdida de humedad enfatizando el estrés hídrico (Senties-Herrera, et. al, 2014). |
| Control de plagas | Actualmente se tiene la iniciativa de reducir la cantidad de uso de plaguicida por medio de control biológico incluyendo el uso de parasitoides y predadores como: <i>Trichogramma atopovirilia</i> , <i>Campoletis sonorensis</i> , <i>Apanteles diatraeae</i> , <i>Cotesia flavipes</i> y <i>Billaea claripalpis</i> (anteriormente <i>Paratheresia claripalpis</i>) así como hongos: <i>Metarhizium anisopliae</i> y <i>Beauveria bassiana</i> que ya han tenido éxito según Arredondo-Bernal y Rodríguez del Bosque en el 2008 (citado por (Senties-Herrera, et. al, 2014). Para el problema de roedores se pretende utilizar aves de presa como <i>Accipiter</i> spp., <i>Buteo</i> spp., <i>Aquila chrysaetos</i> y serpientes como la Boa constrictor, <i>Conopsis</i> spp. y <i>Crotalus</i> spp., estimando que exista una reducción del 50% de la población de roedores. ² |
| Otros | Los aspectos tecnológicos como la disponibilidad de infraestructura en el sistema de riego y drenaje, la mecanización (como uso de cosechadoras) y los aspectos políticos, sociales y económicos (como la tenencia de la tierra) son influyentes en la determinación de la producción |

² Se registra el uso de semilla libre de patógenos para la prevención de propagación de enfermedades, además de tratamientos térmicos y cultivo de tejidos para desinfección y sanidad vegetal, aunque según CONADESUCA (2011) en México no ha sido muy común estas prácticas.

En cuanto a la nutrición del suelo utilizada en la Huasteca se aplica una mezcla de 2 kilos de nitrógeno, 1 de fósforo y 3 de potasio y se ocupa una tonelada por hectárea, es decir, una relación N-P-K. Para el problema de pH de ácido, se usan mejoradores y para mejorar los suelos con pH alcalino, se aplica azufre. El riego es con el abastecimiento del río, arroyos y por lluvia con técnicas de inundación de parcelas que se facilita con la ondulación de los surcos (Castillo, 2015).

En sí, la caña puede ser cultivada exitosamente en suelos arcillosos y franco arcillosos siempre y cuando cumplan las condiciones edáficas, es decir, suelo con buen equilibrio entre el tamaño de los poros del suelo (porosidad total superior al 50%) y una retención de humedad alrededor del 15% (Aguilar-Rivera, 2011).

Los tipos de producción que existen son: agroecológico (con cosecha manual, cosecha mecanizada o cosecha verde y también según los aspectos de tenencia de tierra: ejido o propiedad privada que refiere a la extensión de la producción; se clasifican en supervivencia (<3ha), transición (3-10 ha) y empresarial (>10 ha). En la zona Huasteca prevalece aquellos que están por debajo de las 3 hectáreas, es decir, que se clasifican en producción para supervivencia.

Producción Mecanizada: La cosecha puede ser mecanizada en su estado verde o quemada. Consiste en una “cosechadora” que corta mecánicamente la caña, puede alcanzar a cortar 50 toneladas de caña por hora, la idea principal es realizar una cosecha en verde y a pesar de que este tipo de producción se caracteriza por su alto nivel de uso de energía fósil, es la más aceptada por los ambientalistas porque implica no quemar la caña, lo que reduciría las emisiones. Sin embargo, muchos productores no cubren la rentabilidad para adoptar ésta opción (Díaz y Portocarrero, 2002). Para que se lleve a cabo, el terreno debe estar adaptado para la entrada de la maquinaria, es decir cada surco debe de tener una separación de 1.5 metros. Otro problema es, que los cañeros se quejan de las condiciones del

suelo en las que queda después del paso de la cosechadora, sobre todo si el suelo es húmedo.

Producción manual con quema: La práctica de quema de caña se realiza antes de que los tallos sean cortados manualmente y facilita la eliminación de follaje seco, ahuyentar insectos y otros animales, inclusive se realiza una segunda quema para eliminar el follaje restante. Durante este proceso, las emisiones liberadas son el monóxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO), el óxido de azufre (SO₂), el dióxido de carbono (CO₂) entre otros, que pueden representar una variable dañina para el ambiente y sus habitantes (Vilaboa y Barroso 2013, Senties-Herrera et al. 2014).

Producción manual en verde: Ésta práctica se basa de trabajadores que cortan manualmente la caña. Resulta mucho más difícil ya que los cortadores pueden herirse con el filo de los tallos de la caña o encontrarse con serpientes que pueden representar un riesgo para ellos. Generalmente los productores que no tienen acceso a maquinaria son quienes recurren a éstos métodos de cosecha. Por otro lado, conservar la caña en verde significa doblar o triplicar su valor en el mercado, porque conserva por más tiempo una mayor proporción de humedad (Díaz y Portocarrero, 2002) pero ésta diferenciación no es considerada por la mayoría de los ingenios en México.

Producción pequeña escala: Se realiza dentro de la propiedad de los mismos productores que por lo general no trabajan más de 10 hectáreas. La producción se destina para autoconsumo o para venta al mercado local, así como en la producción de piloncillo. El sistema que utilizan es tradicional (con trapiche) y es difícil que tengan acceso a maquinaria para producción intensiva.

Producción orgánica: La principal característica del cultivo orgánico es que la parcela debe tener un historial libre de agroquímicos por lo menos de 36 meses (USAID-Paraguay, 2011). El cultivo de caña orgánica, tiene un rendimiento de 5 años desde el primer año: se maneja con base en el sistema de labranza mínima con abono verde y orgánico; el depósito de la semilla se hace manual entre los

surcos. Se recomienda tener una siembra mixta de los diferentes tipos de ciclo de caña –temprana, mediana y tardía-. Se puede observar que los mejores rendimientos son bajo una temperatura oscilante entre 25 y 27°C en climas húmedos y subhúmedos, y el control de plagas y enfermedades es bajo el método de control biológico, bajo éste tipo de producción queda prohibida la quema de rastrojos y residuos vegetales como método de limpieza (Ibid).

La producción de caña de azúcar en San Luis Potosí, se lleva a cabo en la zona huasteca, que se localiza en la parte sureste del estado que tiene características propicias para el cultivo de caña, ya que su precipitación media anual es de 2, 500 mm a 990 mm, con una temperatura que oscila de los 20°C a los 40°C en promedio y el tipo de suelo es arcilloso característico del vertisol que a pesar de no ser muy profundo, se ha adaptado a las condiciones necesarias para el cultivo de caña mediante el sistema agrícola de irrigación (Aguilar-Rivera et al. 2012).

La caña de azúcar representa una derrama económica de más de dos millones de pesos para personas involucradas, además de ofrecer empleo a casi un millón de personas directamente en el país (Gómez-Merino, 2014). En el ciclo 2012-2013, la producción de molienda de caña, representó un aporte del 11.6% del PIB del sector primario y el 2.5% en el sector manufacturero a nivel nacional (Enrique-Poy, citado por Gómez-Merino, 2014).

Derivado de su antigüedad, la caña de azúcar, representa no únicamente una actividad económica, sino identidad social, regional y cultural. Existen comunidades completas que viven de lo que la caña les permite, de allí su gran relevancia.

1.3 Historia de la caña de azúcar en San Luis Potosí.

La aparición de la caña de azúcar en América del Norte y Suramérica, se retorna desde los viajes de navegantes, conquistadores y colonizadores del Viejo Mundo quienes introdujeron el azúcar como materia prima (Aguilar-Rivera, 2010).

La demanda que se trajo con la llegada de los españoles explica la expansión territorial que tuvo el plantío de la caña, además de que los aspectos edafológicos y climáticos de la mayor parte del país eran propicios para su cultivo (Aguilar-Rivera, 2010).

La llegada de la caña de azúcar al estado de San Luis Potosí, justamente a la zona Huasteca implica un papel de asociación con los roles sociales y políticos a finales del siglo XVI y principios del siglo XVII. Aguilar-Rivera menciona que Hernán Cortés reorganizó el espacio Huasteco bajo dos acondicionamientos: las nuevas formas de apropiación del suelo a partir de la actividad ganadera y la reducción de las poblaciones huastecas para garantizar las estructuras político-territoriales españolas. De esta manera, la producción de sacarosa representa funciones jerárquicas y distinciones sociales de todos los tipos, no únicamente para la sociedad colonizadora, sino también para quienes estaban en situación de esclavitud, ya que el consumo de la caña representaba una gran fuente de calorías, además del aguardiente que se derivaba de la misma, se usaba como estimulante. Su fácil acceso y producción no necesariamente era para quienes pertenecían a las clases privilegiadas, Aguilar-Rivera (2010) resalta el impacto que la caña tuvo en la región Huasteca Potosina:

“(...) la expansión de la caña en territorio huasteco, su cultivo, transformación y comercio, quedó en manos de los indios y no de los españoles que sólo la habían traído y también habían logrado instalar un par de ingenios dignos de llamarse como tales. Fue tal el éxito doméstico de la caña de azúcar entre los indios, que estos instalaban pequeñas fábricas de producción de piloncillo que las familias indias tenían en sus solares.”

En el mismo trabajo de Aguilar, señala que hubo un aumento del consumo y producción del azúcar. La rapidez del crecimiento productivo de la caña en la Huasteca fue la principal razón de deforestación en la región, agregando que el plantío tuvo una gran influencia para sus pobladores tanto para sus alimentos como para su comercio. Se empezaron a producir diferentes derivados de la caña como el azúcar, el piloncillo y el aguardiente por medio de trapiches; el bajo

insumo de uso de capital y tecnología ahorra el empleo extensivo de la tierra y el uso masivo de producción, la Hacienda se encargaba de la administración de la tierra y el trabajo. Sin embargo, la limitante era el mercado, ya que era reducido y lejano, lo que también representaban altos costos de transporte.

Durante la transición hacia la producción agroindustrial de la caña de azúcar en San Luis Potosí como se conoce en día, era guiado bajo el sistema de colonato que permitía a los indígenas cultivar caña y vender sus cosechas a los trapiches e ingenios cercanos, a los mercados las poblaciones cercanas, así como a la red de pequeños trapiches de los alrededores que se dedicaban a la elaboración de los derivados de la caña (el trapiche se volvió sello característico de las haciendas en la Nueva España) (Aguilar-Rivera, 2010).

En el último tercio del siglo XVIII termina el sistema de hacienda debido al ciclo de circulación del capital minero que predominó en la economía de la Nueva España, por lo tanto los subsidios eran destinados principalmente a la minería. A todo esto, la aceleración del aumento de producción y derivados de la caña, implicó la expansión del dominio de más recursos naturales y de mano de obra. La Hacienda se regía como sistema autónomo con la autosuficiencia productiva y la monopolización regional de los productos que se ofrecían. Aguilar-Rivera (2010) menciona:

“La hacienda en San Luis Potosí fue la unidad económica que represento en la agricultura las nuevas relaciones de producción instauradas por la Conquista en la Nueva España interesada en la simbiosis mina-hacienda cerealera y ganadera, es un mecanismo fundamental en la extracción del excedente materializado en la plata.”

Del proceso de la producción de la caña se obtenían: panes de azúcar (panes de azúcar blanca, entreverada blanca y mediana y prieta, pedacería o polvo, panocha, panela. Además el cogollo se destinaba para alimento de animales, el tallo ofrecía jugo y el bagazo se utilizaba como combustible, por último, la ceniza se usaba como abono para el suelo. La caña era uno de los cultivos de mayor importancia por la variedad de sus productos, la facilidad de su fabricación en

comparación con el trigo y la complejidad sociopolítico que representó en comparación con otros cultivos era mayor, ya que tuvo menos controles políticos por ser alimento básico español y tener alta rentabilidad. El estado y la iglesia destacaron la caña en sus bases económicas por medio del cobro del diezmo sobre la miel y el estanco del aguardiente que se obtenía de éste, como lo describe Aguilar-Rivera.

El término del sistema de Hacienda, estuvo acompañada con una crisis de mano de obra. La respuesta a este hecho fue la importación de mano de obra y alternativas costosas, ya que el gobierno español pensaba que había una escasez de trabajadores, lo cual no era cierto, sino que se había considerado que la trata de indígenas y negros ya no era rentable. Para resolver esta situación el Conde de Monterrey expidió una ordenanza para limitar la expansión del cultivo de caña y la instalación de trapiches e ingenios ya que las tierras eran disputadas para destinarlas al cultivo del trigo y el maíz, así como el trabajo indígena y esclavo que se empleaba en la minería se reorganizó para el trabajo de los trapiches e ingenios, el resultado fue un alto precio del azúcar; consecuentemente la inversión se contrajo y frenó el desarrollo de la caña en su pleno auge. El descenso de las importaciones de la metrópoli, obligó a los hacendados a diversificar sus actividades hacia la ganadería, cultivo de café y otros granos básicos. Lo anterior acentuó su autosuficiencia de la región también debido a la su aislamiento y rivalidades vecinas que existían: mientras en la Huasteca sur, se limitaba el crecimiento de la plantación de la caña y la monopolización de la tierra, en la Huasteca norte se impulsaban las razones para cambiar a un sistema agroindustrial con mayor escala y mejoramiento tecnológico (Aguilar-Rivera, 2010).

Sólo algunas zonas productoras sobrevivieron del periodo de 1600 a 1770, en San Luis Potosí el establecimiento de la producción de caña con el sistema agroindustrial, inició con la construcción de ingenios en Tamazunchale en 1599 y en Río Verde en 1621 por Pedro de Ochoa. La escasez de circulante obligó a la industria azucarera a pedir préstamos a las instituciones religiosas quienes

cobraban con adelantos de mercancías, lo que hoy se maneja como “crédito avío”. Los préstamos eran destinados para los salarios, víveres, insumos y reparación de maquinaria.

El crecimiento de la industria estuvo condicionado por el crecimiento poblacional dedicado a la minería y el impedimento por parte de los indígenas en expandir el cultivo en las costas vecinas del Nuevo Santander y el norte de Veracruz. De esta manera la concentración de las 60 haciendas azucareras en el estado, las más grandes, se encontraban en los municipios de Valles, Tamasopo, Tamazunchale y Tampamolón principalmente por las condiciones fisiológicas del lugar y la cercanía a los cuerpos de agua que facilitaban el riego de la caña.

La influencia de la caña se traduce en la fragmentación del área que existe, el desarrollo de tecnologías, redes mercantiles y derivados de caña en cada región del estado, sobre todo para la región Huasteca (Aguilar-Rivera, 2010).

Durante el siglo XVIII se experimenta una recuperación de la actividad minera que incorpora dinamismo en varias actividades e impulsa el proceso económico como en la capacidad de la agricultura para cubrir la demanda de exportaciones de azúcar a Veracruz y Morelos. En 1796 se legaliza nuevamente el aguardiente de caña, lo que crea mayor rentabilidad y flexibilidad para las empresas de este sector lo que provocó desplazar a Haití de la competencia como exportador mundial de azúcar. A pesar de este suceso, las primeras tres décadas de la independencia de México, la producción de azúcar se redujo principalmente por tres aspectos: uno, la desaparición de competidores por casi tres décadas, en el caso de Veracruz y Michoacán, dos, el establecimiento de políticas arancelarias para la agroindustria azucarera en 1821 que se convirtió en un acto prohibicionista para reubicar la preferencia a los productores del centro del país y tres, el desarrollo de una red mercantil basada entre lazos familiares y de negocios de grupos hacendados-comerciales, (Ibid).

En 1842, se crea la Dirección General de la Industria Nacional, que antes de la guerra con los Estados Unidos impulsó el proteccionismo de los productos

nacionales y la modernización de la industria que se desarrollaba en el país; pero junto con la guerra, la Dirección desaparece; pero se crea la Secretaría de Fomento, que en 1856 implementa una política “proteccionista”, consistía en altas tarifas de importación, lo que provocó el contrabando en productos como el tabaco y el aguardiente que se producía de la caña. Para 1872, los liberales quedan al mando e implementan un sistema de prohibiciones de productos importados y con tarifas muy altas. Lo que ocurrió fue que México quedó dependiente de sus exportaciones, lo que intensificó la producción en la agricultura, ganadería y sobre todo minería. En el periodo 1901 a 1911 la producción de azúcar pasó a ser de 75 mil toneladas a 148 mil toneladas (Reyes, 1988).

Para la zafra registrada en 1931/1932 se percibe una crisis en la disminución del precio del azúcar por una “abundancia”, es decir que, la demanda tuvo una tendencia a la baja por lo que en éste periodo los ingenios se vieron obligados a la destrucción del 20% de los cañaverales ante la crisis (Reyes, et. al, 1998). A partir de éste suceso, los cañeros aceptan abaratar su producto a cambio de crédito para maquinaria que impulse la producción y modernización del campo, para ello, la involucración empresarial aumenta en la prestación de créditos.

Bajo el gobierno de Lázaro Cárdenas el azúcar entra a formar parte de la canasta básica para mayor regulación estatal. En ésta misma administración Cárdenas ofrece un crédito de 2.5 millones de pesos y se impulsa la industrialización del campo y los créditos de “avío” en el que los ingenios pagaban los créditos a base de lo que producían. Con éste préstamo, los cañaverales se expanden 10, 000 hectáreas en el país, aumenta la producción y las ganancias eran destinadas a infraestructura propia para la producción del campo –canales, transporte, ampliaciones de tierras y maquinaria- (Ibid).

En 1943 había una gran cobertura de créditos, pero el pasivo del endeudamiento empezaba a agigantarse y para 1953 los ingenios ya tenían altas tasas de pasivo que no les dejaba rentabilidad ni ganancias a pesar de el aumento de exportaciones. Por éste motivo, para los años sesentas el estado limita estrictamente el apoyo financiero al sector paraestatal (Reyes, et. al, 1998).

En 1944 había una distribución de tierras a campesinos de las comunidades de la región que se derivaron de la dinámica después de la reforma agraria (1915). Para 1975, el Decreto Cañero reconoce sólo dos gremios cañeros que estaban afiliados al PRI y se crea la Unión Nacional de Cañeros (UNC). Pero, en 1977, el PRI forzó a la formación de múltiples gremios nacionales y regionales de la CNC y la UNPCA. Éstos estaban fuertemente ligados con el gobierno y tenían compromisos posrevolucionarios, de ampliar los beneficios sociales y subsidios económicos. Sin embargo, en el periodo de 1970-1982, el gobierno es incapaz de establecer una estabilidad que se traduce en que más de 75% de los ingenios tuvo un gran endeudamiento con FINASA (ahora Financiera Nacional Azucarera). Es a partir de 1988 cuando inicia la privatización de los ingenios paraestatales y cooperativas y se realiza una revisión al Decreto Cañero en 1991 con nuevos propósitos, como lo describe Singelmann (2003):

“La intención de estas reformas era sanear una industria quebrada, aumentar la productividad en el campo y en la fábrica y adaptar la rama agroindustrial a las nuevas reglas de un mercado azucarero liberalizado paulatinamente durante la primera mitad de la década de los noventa.”

La revisión del Decreto es principalmente para la utilización el índice KARBE (Kilogramos de Azúcar Recuperable Base Estándar) para establecer el precio de la caña, reducir los riesgos de los cañeros y poner la productividad a favor de garantías. Ahora el gobierno participaba como regulador por medio de aranceles sobre la importación del azúcar y la fructosa de maíz, mientras que los comités se encargaban de que las estipulaciones del Decreto Cañero se llevaran a cabo, es decir, su papel se ejercía como intermediarios entre cañeros e industriales.

En el periodo de 1980-1982 inicia el programa SAM (Sistema Alimentario Mexicano) que sólo protegía 300 productos agrícolas de toda la gama de producción. Lamentablemente a raíz de la implementación de éste programa, las importaciones de los Estados Unidos aumentan y para 1987 la suprainflación impactó principalmente en el sector agropecuario con el endeudamiento de la maquinaria que pretendía “modernizar” el mercado –característica que se exigía

dentro de la dinámica de la agroindustria-. Con el endeudamiento, se produce una ola de migración, empobrecimiento y abandono del campo dada la prioridad política se orientaba a los sectores de transporte, telecomunicación y servicios financieros (SEDATU, 2011).

Con la intención de sanar el endeudamiento e intensificación de la agroindustria, en 1988-1992 inicia la privatización de los ingenios y cooperativas cañeras, con esto, el papel del gobierno se reduce en la toma de decisiones del financiamiento y producción de caña de azúcar. Además en 1991 se promueve el Decreto Cañero que tenía como objetivo *“replantear las relaciones entre la industria azucarera y los productores de caña, dejando al gobierno como rector del mercado mediante la imposición de aranceles, como mediador en las relaciones agroindustriales y como árbitro de controversias. Pero en su conjunto, este proyecto de restructuración fracasó en el contexto de una nueva crisis en la industria azucarera...”* (Singelmann, 2003). Con esto el trabajo de los campesinos se ve desprotegido por las importaciones y por la sustitución del azúcar por la fructosa además del endeudamiento por las altas tasas de interés en 1994-1995.

Para los años noventa, el gobierno admite no haber cumplido con los objetivos comprometidos con el partido del PRI y las nuevas propuestas se orientan a la estabilidad macroeconómica. De tal forma que, el gobierno obligó a los grupos azucareros y cañeros a formar nuevos fideicomisos (FICANÑAS) para asegurar la producción en base a estimaciones futuras a costa de cerrar ingenios ineficientes y trasladando los fondos a otros ingenios con más poder productivo, señala Singelmann.

1.4 El mercado de la caña de azúcar: la situación económica actual

Actualmente México se coloca dentro de los primeros países a nivel mundial tanto en producción de caña de azúcar, como en consumo de azúcar. Para el 2011, el primer lugar en producción es para Brasil, seguido de China, India y Tailandia según la USAID-Paraguay. La FAO (citado por USAID-Paraguay, 2011) asegura

que en el año 2009, la superficie destinada mundialmente a sembrar caña de azúcar fue de 21, 032, 610 ha de las cuáles 663, 057 ha se sembraron en México. En un análisis del periodo que abarca de 1997-2003 México se ubicó por encima del promedio de rendimiento de campo a nivel mundial.

Con el TLCAN, México ha cobrado entre 338 a 360 dólares por tonelada de caña importada, como un medio para proteger a los productores de endulzantes en el país. Las medidas proteccionistas repercuten en los costos de producción, así como en el precio del azúcar y, por lo tanto, de la caña de azúcar. A la vez, los costos dependen de la tecnología implementada para el corte, alce, transporte, molienda de la caña y los demás requerimientos para la producción de derivados de la caña. A lo anterior, se deben de agregar los costos por el uso de agua e insumos al campo, como los herbicidas, los fertilizantes, etcétera (SE, 2012).

La producción de caña en el país, se lleva a cabo en 15 estados: Morelos, Puebla, Michoacán, Jalisco, Chiapas, Colima, Tamaulipas, San Luis Potosí, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa Campeche, Tabasco, Quintana Roo y Veracruz, siendo éste el mayor productor y alojando 20 ingenios de los 55 que existen en total. Estos, reúnen el 72% del volumen nacional total (Financiera Nacional de Desarrollo, 2014). En el periodo 2012/2013, 773, 800 hectáreas fueron cosechadas que representa aproximadamente el 3.5% de la superficie cultivable total del país (PRONAC, 2014). Lamentablemente casi el 90% de la producción total es destinada a exportación es para los Estados Unidos (Gómez-Merino, 2014).

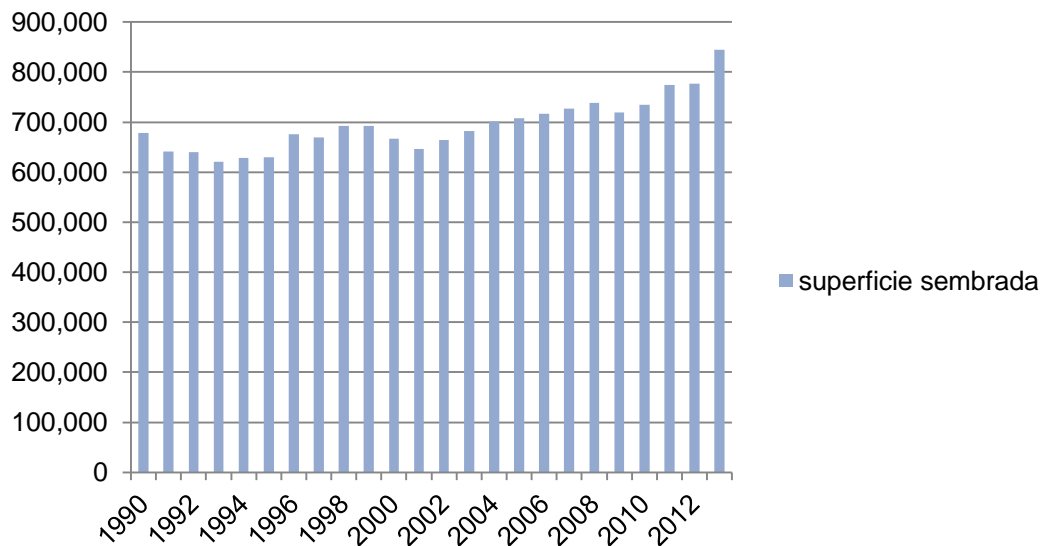


Gráfico 1. Área sembrada (ha) destinadas a caña de azúcar en México, periodo 1990-2013. Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON, 2013.

La producción de caña nacional se mostró estable, de tal manera que en el periodo 1986 al 2005 contribuyó con el 10% -en promedio- (Aguilar-Rivera, 2011) y en el periodo 2010-2011 la producción estatal de caña representó el 11% del total nacional (SAGARPA, 2012). Pero en 2008-2009 hubo una interrupción en la zafra debido principalmente a la disminución de precipitación en gran parte del país, un incremento drástico en los precios de los fertilizantes (sobre todo en los meses junio y julio) y en los factores que han permanecido constantes en el campo como el envejecimiento de los productores, abandono y migración (SAGARPA, 2012).

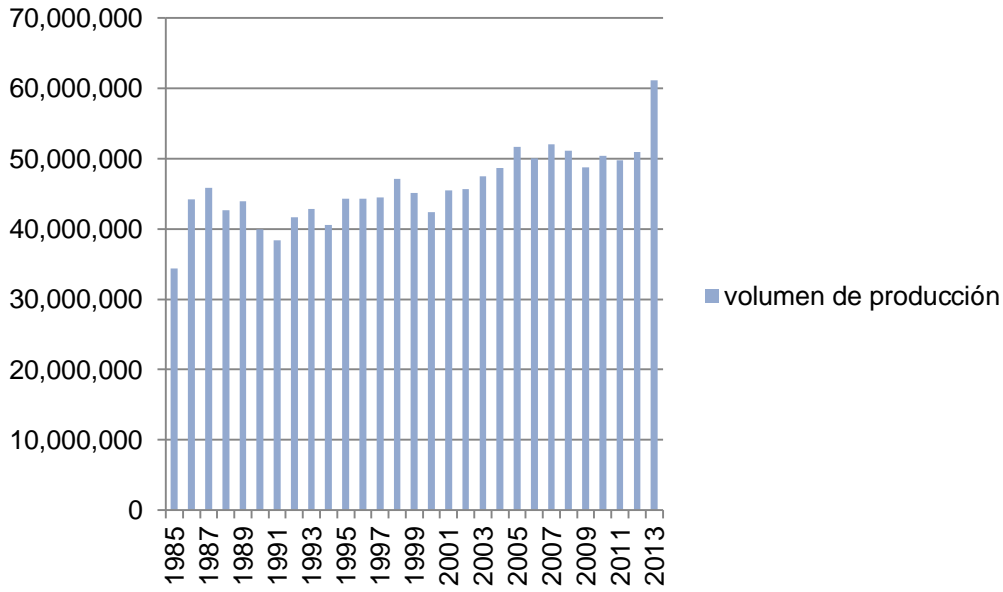


Gráfico 2. Volumen de producción de caña de azúcar (ton) en México, periodo 1985-2013. Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON, 2013.

Según SIAP, en el 2013, la caña de azúcar fue el tercer cultivo de mayor producción (toneladas) después de la fresa (planta) y el tabaco (planta), superando la producción de maíz y a otros productos como el chile, el limón, la naranja y la alfalfa forrajera. Las 61, 182,077.38 toneladas de caña producidas en ese año representaron el 9.42% de la producción total.

En el periodo 2004 al 2014 se observó que en promedio hubo un incremento en la producción, lo que llevó a un incremento en el costo del precio por tonelada de \$408.00 a \$499.00 respectivamente (Unión Nacional de Cañeros A.C.-CNPR, 2014). El precio de la tonelada de caña estaba por debajo de los \$500.00, y en el año 2009 se dispara hasta casi los \$700.00 derivado de la disminución de producción que se percibió hasta el 2011. Para el 2012, el precio por tonelada regresó a su valor promedio (SAGARPA, 2012).

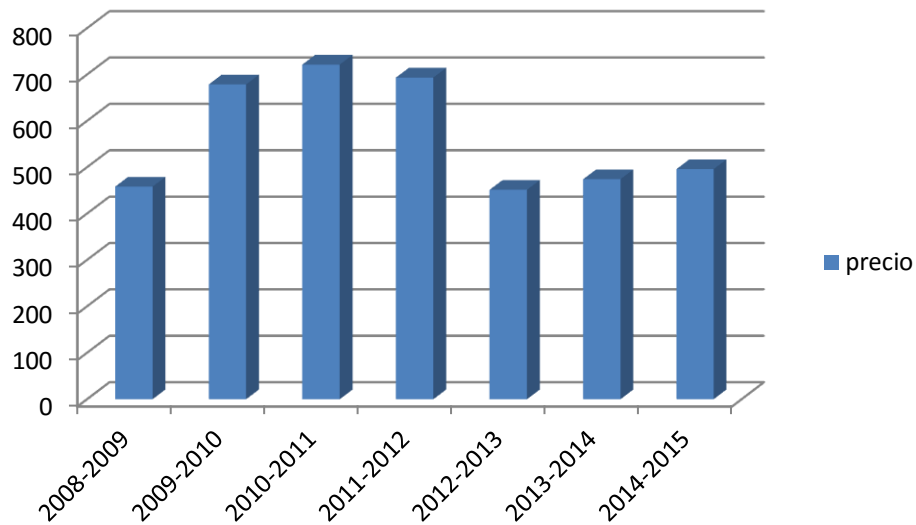


Gráfico 3. Precio por tonelada de caña neta 2008-2015 (Conadesuca 2015).

El sistema agroindustrial azucarero está destinado al mercado interno con un pequeño margen de exportación. El consumidor es indiferente entre el azúcar nacional y el azúcar internacional además de que el azúcar mascabado ha sido sustituido por la fructosa de maíz y edulcorantes no calóricos (Aguilar-Rivera, 2011). El aumento de uso de sustitutos como la fructosa, tanto a nivel nacional como a nivel internacional provocó una disminución en el precio en promedio, cerca de un 30% en el periodo de marzo del 2011 a marzo del 2014 (Financiera Nacional de Desarrollo). A pesar de ello, algunos gobiernos han preferido impulsar el consumo de azúcar natural en vez de la artificial, porque se ha considerado más sana para sus dietas (ASERCA, 2004).

Del procesamiento de la caña de azúcar, se exportan derivados como (ron, etanol, azúcar refinado, azúcar estándar y blanco. El principal destino es Estados Unidos acaparando el 94.7% de las exportaciones; entre los otros destinos se encuentra: Corea del Sur, Puerto Rico, Cuba, Belice, Costa Rica, Taiwán, Alemania, Jamaica y Suiza. Por otro lado, como lo menciona Aguilar-Rivera (2011), la elaboración del etanol en el periodo 2000-2008 se redujo drásticamente al solo operar tres destilerías.

La dinámica actual no ha estado al alcance la diversificación de la caña, por lo que la importación de productos como el alcohol o etanol aún es presente. Una de las alternativas que se menciona, es destinar la caña a la producción de biocombustibles para el mercado nacional.

México ocupa el 15 lugar en rendimiento de producción de caña por hectárea con 67 t/h, estando por debajo del promedio mundial que es 77.7 t/h SE (2012): *“En el ciclo 2012/13, en nuestro país se cosecharon 780.3 mil hectáreas que abastecieron a 55 ingenios, superficie 10.9% superior a la industrializada el ciclo anterior, con siembras realizadas en el ciclo 2011/13, motivado principalmente por el incremento en los precios del azúcar registrado durante el periodo 2009-2011”*. Con una producción de 78.7 toneladas de caña por hectárea, la más alta del que se tenga registro considerado por las condiciones atípicas de ese ciclo (PRONAC, 2014).

Para el año 2015, las producciones totales fueron de 1, 710,191 toneladas a nivel nacional, de las cuales, 118,321 toneladas fue para exportación –siendo el 7%-; 69,131 toneladas para los Estados Unidos representando el 58% del total destinado a exportaciones y el 4.04% de la producción total. En comparación con el año 2012, las toneladas destinadas a exportación llegaron a 1,499, 158, por lo que se percibió una baja en un 37% (SAGARPA, 2015, SAGARPA-CONADESUCA, 2012).

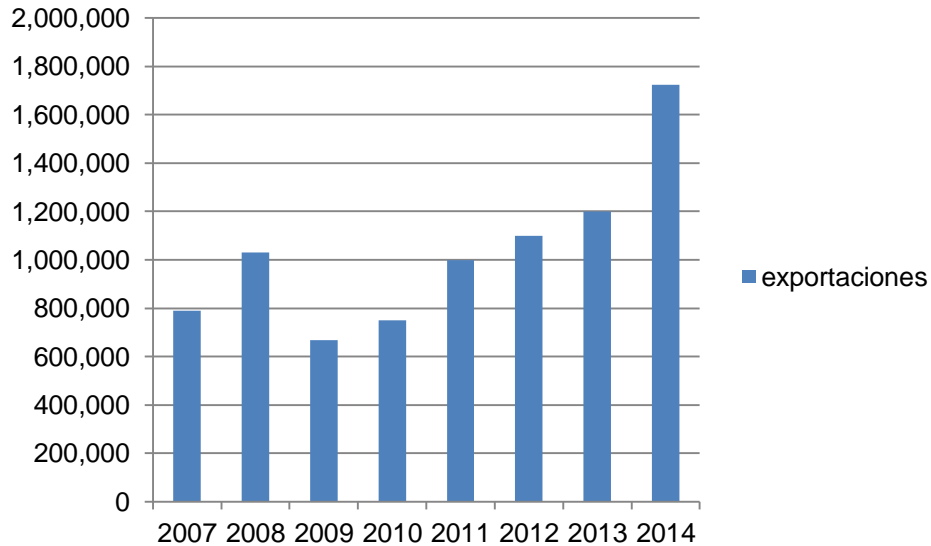


Gráfico 4. Exportaciones totales de caña de azúcar por año a nivel nacional. Fuente. Elaboración propia, con datos de ZAFRANET y CONADESUCA.

El sistema agroindustrial es el principal método de producción de azúcar y derivados de la caña de azúcar, por medio de los ingenios. Este sistema se maneja a partir de tres aspectos: a) la cantidad de caña, b) el rendimiento de la fábrica y c) la capacidad aprovechada e instalada de los ingenios que al mismo tiempo, dependen de la productividad de los cultivos. Por lo tanto, la agroindustria es una serie de procesos estructuradas y vinculadas entre sí que requiere de una gran parte técnica sobre el producto y su destino final (Aguilar-Rivera, 2011).

El procesamiento industrial no ha tenido muchos cambios debido a la capacidad de procesamiento de los mismos, que a la vez, es dependiente del rendimiento de la caña y la edad del cultivo (plantilla, soca, resoca).

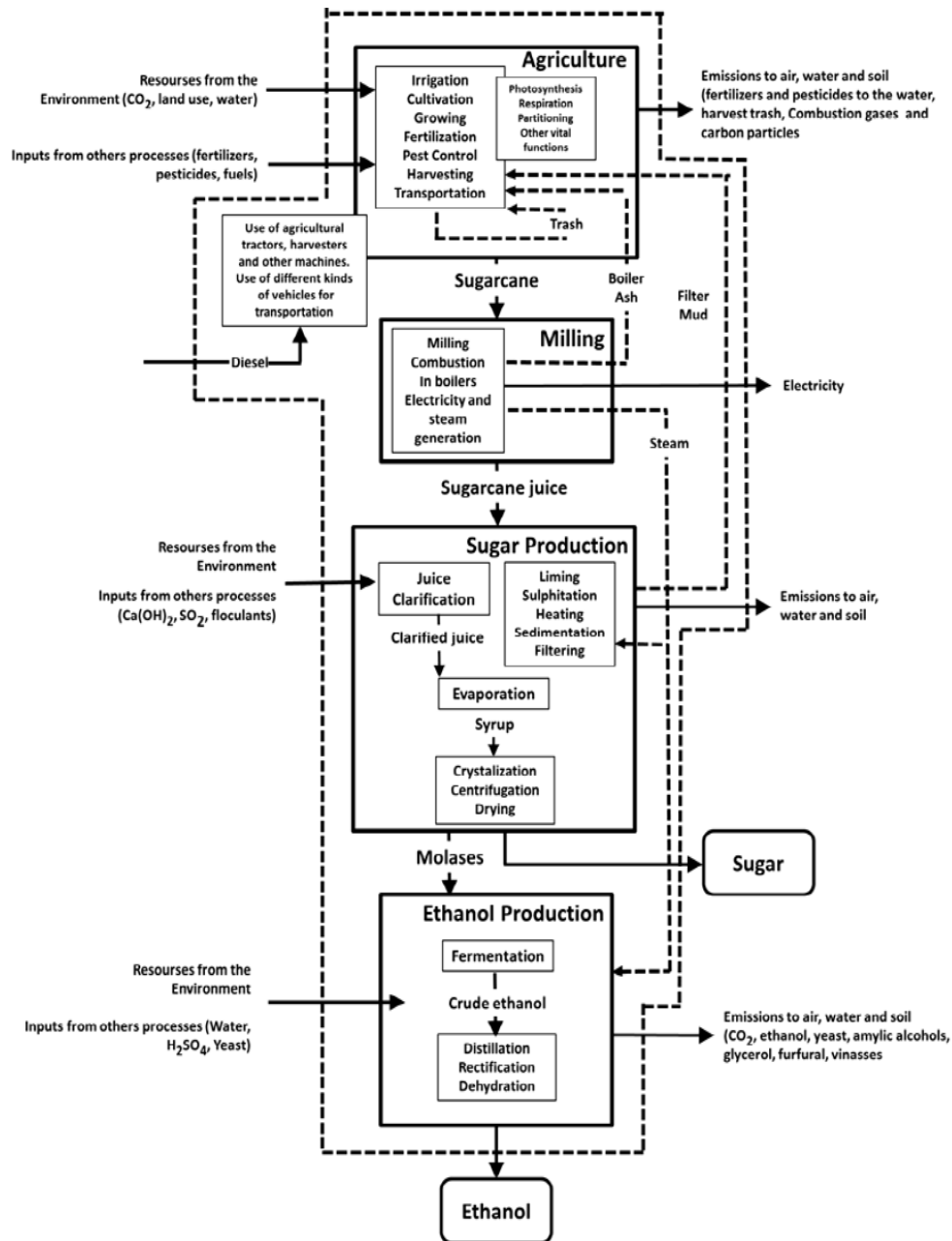


Figura 2. Diagrama de producción y transformación de la caña. Fuente: Aguilar-Rivera, et al (2014).

La producción de azúcar inicia en los ingenios a partir de la recepción de la caña sin tallos. En una explicación simplificada, el proceso de transformación de la caña a azúcar refinada es; una vez la caña sin tallos, se pasa al proceso de molienda, que consiste en desmenuzarla y desfibrarla la caña mecánicamente. A continuación pasa a una serie de molinos con agua caliente a contracorriente para obtener el mayor nivel de sacarosa –jugo de mezclado-. Luego pasa a un proceso

de evaporación de agua para obtener la meladura que es llevada a los tachos para el proceso de cristalización para después molerla y convertirla a azúcar refinada.

La producción y transformación de la caña de azúcar, puede dividirse en tres bloques: el campo, la industria y el mercado, el cual, cada bloque tiene entradas (inputs) en una interacción de “productor-acopiador-ingenio” -azucarero-industria-consumidor (Hernández-Cázares, 2014). La industria a la vez se divide en dos grandes áreas: a) fábrica, encargado de la caña de azúcar y derivados; b) campo, encargado de cultivo, zafra y parcelas.

Los costos en el proceso de la caña por parte de los ingenios, está englobada en dos categorías: Materia Prima (MP) y Transformación (T). Para el periodo 2005-2009 el incremento se percibió en MP (caña molida) en un 21.2% promedio anual, con lo anterior, menciona la Secretaría de Economía que los ingenios no tienen incentivos para modernizar su equipo e incrementar sus competitividad y niveles de operación dado que: *“En proporción, cerca de 75% de los costos totales son la materia prima para la elaboración de azúcar, que a su vez, se determinan por el precio de referencia de la caña (...) para 2005 la mayoría de los ingenios operaban por encima de los costos de la materia prima, y poco menos de la mitad operaba bajo los parámetros del costo promedio de transformación y total.”* (SE, 2012).

El descenso del rendimiento de la agroindustria azucarera en los años antes del 2010 percibida a nivel nacional, se debió a diferentes causas como el incremento de superficies con resocas, incidencia de plagas y reducción del tamaño de la unidad productiva, este descenso se interpretó aproximadamente en unas 8 t/ha menos en promedio. Aguilar-Rivera (2011) menciona que la falta de competitividad de la agroindustria azucarera también se debe a la falta de impulso en los modelos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I):

“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)”

Consecuentemente la contracción de la oferta exigió al sector azucarero a un aceleramiento de modernización y de su grado de acumulación por medio de la diversificación productiva. Para ellos se ha propuesto una nueva agroindustria denominada *biorefinerías*, sin embargo, existen barreras actuales -como la distribución espacial desigual- que impiden realizar esta propuesta.

La capacidad de los ingenios estará fuertemente ligada a las actividades y capacidad del campo. Los estados con mayor eficiencia tanto en campo como en fábrica son: Morelos, Puebla, Jalisco, San Luis Potosí, Chiapas y Oaxaca, mientras que el resto de los estados sólo ocupa eficiencia en campo o en fábrica, mas no ambas.

El rendimiento del campo se obtiene con el cálculo de unidad por superficie en toneladas (t. caña/h) agregando otros factores como la disponibilidad de agua, fertilidad del suelo y su textura, fertilización, pérdida de suelo y cultivo por sequía, plagas y enfermedades, grado de mecanización, tenencia de la tierra, entre otros. A la vez, este cálculo está relacionado con otros criterios fuera del marco físico, es decir, factores socioeconómicos de la región, y según Aguilar-Rivera (2011), se pueden agrupar en tres grupos:

- a) Factores humanos: los inherentes a la toma de decisiones o situación económica de la producción de manera directa o indirecta, como: disponibilidad de crédito, mano de obra, tenencia de tierra, etc.
- b) Factores ambientales: condiciones físicas de la región como el suelo y el clima.
- c) Factores agronómicos: variables que se modifican a partir de los factores humanos como la humedad del suelo, la presencia de plagas y enfermedades o el nivel nutrimental del suelo.

Se considera que la agroindustria azucarera enfrenta problemas estructurales tales como, articulación de organigrama, falta de un adecuado marco normativo y falta de intervención política en el impulso de inversión y crecimiento en el sector frente a la nueva competencia que representan los edulcorantes y la fructosa, el consumo de éstos ha ido en aumento.

225 municipios son productores de caña de azúcar, es decir el 9.1% del total de municipios de los estados cañeros y en conjunto, aportan en promedio al valor agregado nacional un 7.1%. La importancia de la producción de caña en los estados, se refleja en el índice de marginación, según SE, los municipios no productores de caña, tienen un nivel más alto que los municipios productores. El indicador engloba educación, vivienda, ingresos y tamaño de localidad (SE, 2012).

En cuanto a los costos de los productos derivados de la caña dependen fuertemente del volumen de producción que se genere; así, a mayor volumen menor será el costo de los productos. México se encuentra por encima del costo promedio mundial, por lo que es necesario que el sector cañero mejore sus herramientas y métodos de producción para una mayor competitividad.

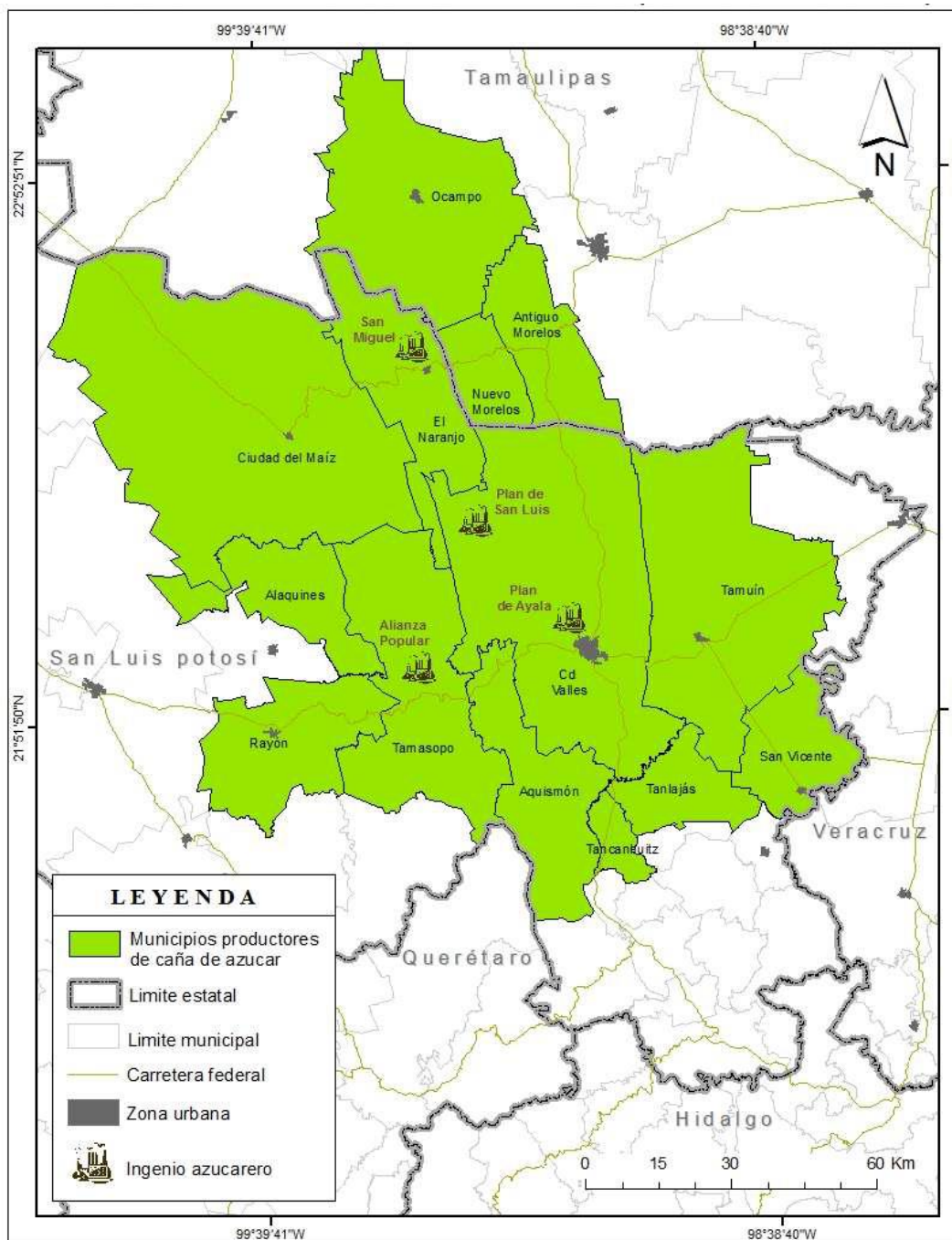
En cuanto a la aplicación de la propuesta de diversificación en la región de la Huasteca Potosina, Aguilar-Rivera (2011) menciona que es viable y rentable la aplicación, por medio de diversificación horizontal, vertical y horizontal-vertical, que consiste en diversificar; en relación con los cultivos (horizontal), con la inclusión de actividades no agrícolas (vertical) y con la división en el uso de los recursos en otras actividades exógenas a las actividades agrícolas (horizontal-vertical).

Una mejor explicación de la diversificación vertical consiste en ascender el valor de uso y de cambio por medio del valor tradicional de los productos básicos, ya sea agregando información del producto en cuanto a su calidad o su lugar de origen, además del proceso de transformación. Para la diversificación horizontal, implica la inclusión de nuevos productos como cultivos exóticos, orgánicos para su exportación. La limitante sería la falta de experiencia comercial de los productores

cañeros en la venta de productos no tradicionales, el difícil acceso a los servicios financieros y la deficiente infraestructura que presenta una porción de los productores –principalmente para el caso de los cañeros de la región Huasteca sur-.

Aguilar-Rivera (2011) menciona que una de las herramientas empresariales para ingresos extras a los productores de caña, se enfoca en la diversificación del producto, que puede reducir la dependencia de la venta de la caña únicamente hacia los ingenios azucareros, a pesar del riesgo a mediano plazo que se pueda presentar, representa una opción estratégica de un escenario más sustentable (en términos de mercado justo).

Los principales municipios con mayor cantidad de producción en el estado son: Aquismón, Ciudad Valles, El Naranjo, San Vicente Tancualayab, Tamasopo, Tamuín, y Tanlajás, seguido de otros municipios con producciones menores como Tampalomón y Tanchuítz de Santos. En el 2009, se registró un total de 68, 669 hectáreas cosechadas en el estado y una producción total aproximadamente de 3, 503, 863 toneladas. Dentro del estado, se encuentran trabajando cuatro ingenios; Alianza Popular, Plan de Ayala, San Miguel El Naranjo y Plan de San Luis y su rendimiento de producción se consideran cercanos al promedio nacional (Aguilar-Rivera, 2011).



Mapa 1. Principales municipios azucareros del estado de San Luis Potosí. Fuente: Tesis, Aguilar-Rivera, 2011.

Con excepción de la producción de caña orgánica, en el estado se presentan todos los tipos de producción: convencional y agroecológica con variaciones de cosecha en verde, con quema, manual y mecanizada. La caña que predomina es la Mex 69-290, Mex 55-32, Mex 68 P 23, Mex 57-473, CP 72-2086, SP70-1284, y

pertenece a la especie tardía que se traduce entre 9 a 12 meses de crecimiento y madurez de la caña, otras variedades son No-310, L-60-14, MY-55-14, Q96, RD 75-11, POJ2878, CP Mex 69-290, 72-2086.

En el 2009, se registró un total de 68, 669 hectáreas cosechadas en el estado y una producción total aproximadamente de 3, 503, 863 toneladas del cual la aportación productiva de la zona del Naranjo representa casi el 30% de la zona cañera del total de la Huasteca potosina. Dentro del estado, se encuentran trabajando cuatro ingenios; Alianza Popular, Plan de Ayala, San Miguel El Naranjo y Plan de San Luis y su rendimiento de producción se consideran cercanos al promedio nacional (Aguilar-Rivera, 2011), su actividad depende altamente del rendimiento de los cultivos.

El sistema de cultivo de la caña de azúcar en el país, se maneja principalmente bajo la técnica de quema, corte manual y alce mecanizado. Para considerar la cosecha en verde requiere de características específicas del suelo, como suelo no pedregoso o distancia entre surcos -para algunos agricultores les resulta dificultosa la preparación del suelo-. Otra situación común a la hora de la cosecha en verde manual es riesgo de introducirse entre los cultivos por la presencia de víboras, tarántulas y ratas, además de la cantidad de tallos filosos propios de la caña que puede causarles heridas como se ha mencionado.

Para la solución de problemáticas locales, toma de decisiones y coordinación de los cañeros, existen asociaciones y organismos de cañeros unidos como la CNC (Comisión Nacional de Cañeros) o la CNPR. Los comités y organizaciones entablan una función de comunicación entre cañeros e industrias, además de cubrir aspectos básicos referentes a la producción de caña como: seleccionar los mecanismos de producción de caña, el tipo de caña que se debe cultivar, el tipo de fertilizantes, tratamiento por problemas de plagas, entre otros temas de interés.

La práctica que predomina en las zonas azucareras del estado al momento de cosecha es la quema de la caña: en el periodo de zafra, cuando la caña es lo suficientemente madura para ser cosechada, se realiza una primera quema para

eliminar los tallos secos que se han acumulado, el proceso de combustión es rápido y sólo se llega a quemar el 29% de la biomasa total de la caña (Flores-Jiménez, 2016). Después de la primera quema, el corte con cosechadoras o con corte manual, se facilita ya que el uso del fuego también ahuyenta animales como roedores que podrían en los cultivos; por último, una vez que se ha realizado la cosecha, los restos de caña que quedan son incorporados al suelo por medio de una segunda combustión (segunda quema).

Sin embargo, con esto disminuye el porcentaje de azúcar de la caña (por la aceleración de fermentación) lo que se traduce a una diferencia de precio de la caña, ya que la cosecha en verde valdría más dinero según el indicador “KARBE” (Kilogramos de Azúcar Recuperable Base Estándar). Este indicador define el precio de la tonelada, la madurez de la caña según el nivel de humedad del tallo - que debe de rondar entre los 70 y 74% de humedad-, el nivel óptimo es de 72%, luego se calcula la relación sacarosa y los grados brix para ver la pureza de sacarosa. Por lo tanto, el índice de madurez se calcula:

Ecuación 1

$$\text{humedad} + \frac{\text{sacarosa}}{100} + \frac{\text{fibra}}{1000} \quad 3$$

El tema de los costos de producción, del cual se deriva el KARBE, sigue influyendo fuertemente para la competitividad y en la toma de decisiones de las empresas productoras de sacarosa y derivados, tanto en el corto como en el largo plazo así como a nivel internacional.

Una de las barreras que ha impedido las actividades agrícolas es la dependencia que existe en la capacidad institucional, empresarial y técnica, pero del cual no se ha realizado una indagación suficiente en cuanto a la producción de caña.

³ Ecuación de cálculo de madurez, en KARBE para la determinación del precio de tonelada de caña de azúcar. Los valores del índice deben de encontrarse entre cero y uno. Véase en http://www.caneros.org.mx/site_caneros/descargas/simposio_calidad_cana/09_calidad_de_la_materia_prima_y_su_efecto_en_el_karbe.pdf

Cuando no existe una eficiencia en el sistema de producción primaria de la caña, resulta más vulnerable ante la competencia de los países y ante los efectos del cambio climático. Según Gómez-Merino (2014), México es el segundo país más susceptible –después de la India- ante los fenómenos climáticos y dinámicos a escala global y asegura que bajo ésta situación, para el 2080 la producción agrícola pudiera caer más del 25% adhiriendo la presión de la preservación de los recursos naturales y el crecimiento poblacional.

Otras faltantes que existen son: la gestión ambiental que se derivan en temas como los residuos de la caña, biomasa, etanol, contaminantes de agua y suelos y otros temas que aún no se han cubierto del todo; el acceso a crédito destinado a la investigación y mejoramiento del rendimiento del campo y la industria, así como el margen de riesgo que existe en caso de bajas en el mercado y la capacidad de expansión y diversificación del sector; la falta de certificación ya que es una forma de alcanzar una alta competitividad, y para ello, se debe de llevar a cabo registros precisos de funcionamiento y mantenimiento, constantes inspecciones de campo o cumplir con ciertos reglamentos de cultivo orgánico que en México aún no ha puesto en práctica (Gómez-Merino, 2014).

1.5 Dificultades de la caña de azúcar: justificación de estudio y la competencia de los edulcorantes

Los estudios sobre la producción de caña de azúcar son vastos en relación a cómo hacer más eficiente su producción, su papel dentro de la economía de México en el ámbito agrícola y comercio de alimentos, así como los nuevos retos que enfrenta ante la competitividad con respecto a los otros países productores como Guatemala, Brasil y Argentina. Sin embargo, en materia de las problemáticas que representan las externalidades, su impacto, su dimensión dentro del proceso de producción de caña, los trabajos son escasos.

La CEPAL (2002), no ha llegado a una respuesta satisfactoria de cuántos son los costos por emisiones, sólo han clasificado las emisiones por actividad: industrial, de transporte, consumo público y las actividades agropecuarias como una sola

(sin separar ganadería de agricultura). Este hecho representa un alejamiento del conocimiento de la cantidad de emisiones liberadas por la producción de caña, el efecto externo que tiene y las repercusiones que representan.

En el caso de estudio la producción de la caña de azúcar es bajo el sistema de monocultivo, y que no varía en tiempo y espacio, implica cambio en el uso de suelo y una recurrente interrupción (disturbio) en la sucesión secundaria en el ecosistema. Otras circunstancias ambientales negativas en las que participa el monocultivo de caña son; el uso de herbicidas y plaguicidas que reducen la macro y microfauna así como la macro y microflora, el aumento de la probabilidad de salinización del suelo, las aguas residuales que se usan para la producción del azúcar y de las emisiones GEI (Díaz, L. y Portocarrero E, 2002).

Las emisiones de CO₂ repercuten sobre el rendimiento de la vegetación, ya que reducen el área foliar, pueden reducir la productividad de la fotosíntesis y acidificar los suelos. Además la práctica de la quema provoca pérdida de nitrógeno que reduce la vida microbiana del suelo, así como pérdida de materia orgánica. La inhalación del humo de la quema puede repercutir gravemente en la salud de los trabajadores, por la incidencia de bronquitis, enfisema pulmonar y asma entre otras (Molina, 1997).

Estos daños a la salud pueden extrapolarse en los costos ambientales considerando los gastos ocasionados por las problemáticas de salud que se pueden presentar ante la exposición de inhalación de las emisiones y en la necesidad de aumentar la cantidad de insumos para la producción.

Es importante integrar el efecto ambiental que tiene la producción de caña en el cultivo. De esta manera, la internalización de las externalidades al proceso de producción, implica cambio en las estructuras de costos y de producción que se reflejan en el nivel de ganancias netas de los productores y en la eficiencia y sustentabilidad de los cultivos y la tierra en sí.

La evaluación de los costos ambientales, generará un acercamiento a diagnosticar el impacto ambiental relacionado con la producción de caña y facilitar la toma de

decisiones, ya que la no comparabilidad de costos implica la imposibilidad de tener un panorama más claro para la toma de decisiones públicas, ya que éstas se convertirían completamente arbitrarias (Martínez-Alier, 2006). Al incorporar los costos ayudará al mejoramiento del sistema de información, asesoramiento, no únicamente para el sector cañero si no para el caso de otros cultivos.

Cuando existen criterios de valoración, en este caso de costos ambientales, se facilitan los procesos democráticos ya que existe una información de respaldo. No es necesario que expertos estén en el proceso de democratización, sino sólo en la facilitar la información necesaria. En el caso de la política ambiental, cada vez más, existe un peso en la importancia de la valorización monetaria para aplicar las leyes ambientales y en particular en la “responsabilidad civil” en materia ambiental, según Martínez-Alier (2006).

La toma de decisiones debería conducir a la creación de políticas ambientales que estén basados más allá del empleo por incentivos, es decir, no sólo aspectos financieros, sino basados en el cuidado de la biodiversidad y del crecimiento humano en un contexto sano (CEPAL, 2008). Singelmann (2003) menciona que se requiere de una distinción analítica para cambios formales/institucionales, así como de costumbres políticas por parte de los agentes que interactúan tanto intrínsecos como extrínsecamente con el sector azucarero a escala nacional y estatal.

Aún no existe una estimación de la dimensión y del impacto ambiental que significan las emisiones GEI generadas por la producción de caña de azúcar en la Huasteca Potosina, ni el conocimiento de los cambios que puedan representar la introducción de los costos ambientales en este sistema de producción. Además, se cree que el gobierno debe mejorar políticas públicas y la aplicación de programas tanto federales como internacionales para lograr un alcance hacia una producción sustentable de la caña de azúcar en esta región.

1.5.1 Jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF)

El consumo del Jarabe de Maíz de Alta Fructosa (JMAF) como sustituto del azúcar de caña ha ido en aumento, representando un 3.5% promedio anual en el incremento de ingesta de este producto en alimentos y bebidas. Por otro lado, las importaciones de este producto aumentaron en un 19.4%(CONADESUCA, 2011).

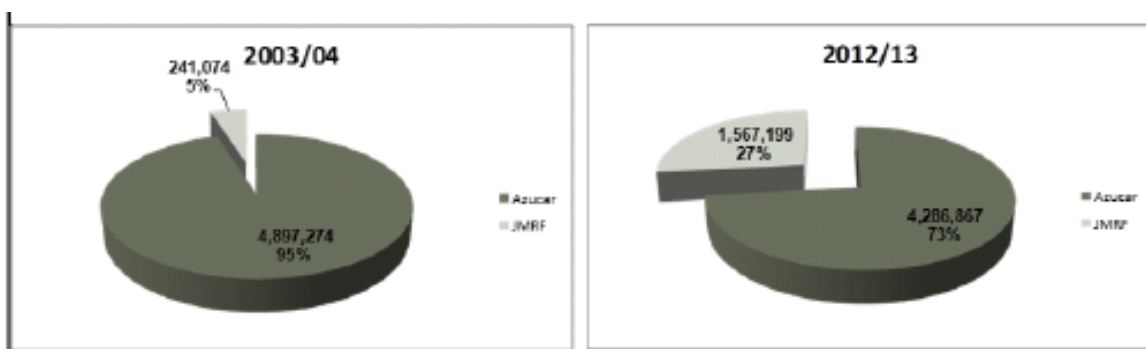


Gráfico 5. Consumo nacional aparente de edulcorantes: JMAF y azúcar (t/%) , ciclos 2003/04 a 2012/13. Fuente: PRONAC, 2014.

A pesar de lo anterior, el consumo del azúcar ha disminuido, lo que puede significar una variante de disminución de producción en la caña (al no tener una buena diversificación de ésta), y se ha debido por el aumento de consumo en JMAF y en edulcorantes no calóricos. La SE (2012) hace mención de ello: “(...) el consumo de azúcar ha caído en 2.7% en promedio anual para 2002/03- 2010/11. En cambio, el consumo del JMAF se ha incrementado a un ritmo de 40% en promedio anual para el mismo periodo. Comparativamente, el consumo de azúcar pasó de 4,934.9 mil toneladas en 2002/03 a 3,950 mil toneladas para 2010/11.”. Además el aumento del precio del azúcar, durante el periodo 2003-2011, se ha percibido a la alza en un 12% en comparación con los sustitutos.

1.5.2 Grupo de alimentos “No Calóricos”

Acesulfamo-K, Aspartamo, sal de Aspartamo-Acesulfamo, Ciclamato, Neohesperidina dihidrocalcona, sacarina, Sucralosa, Taumatina y Neotamo son considerados dentro de grupos endulzantes “no calóricos” que pueden ser sustitutos del azúcar y que han tenido rotundo éxito particularmente en Europa (García-Almeida, et al, 2013).

El aumento del consumo de los “no calóricos” se ha debido principalmente al cambio de estilo de vida y rutina de las personas, lo que ha provocado un aumento en los casos de obesidad, enfatizando la preocupación de los casos en adolescentes e infantes en los que implica la ingesta del azúcar como “dañina” al ser relacionada con problemas de salud como la diabetes, hipertensión, obesidad, entre otros.

Consecuentemente, la caña de azúcar se han visto afectada, ya que se desprecia su principal producto; el azúcar, lo que provoca una baja de su valor real y se extrapola a la baja inversión y el bajo rendimiento del sector.

El problema del mercado de los endulzantes recae en que no existe un consumo prudente en medida del azúcar derivada de la caña. Según la CONADESUCA, el azúcar no representa ser dañino a la salud, si no los cambios de las rutinas de baja actividad física y la ingesta de grandes cantidades de alimentos calóricos.

El consumo del azúcar poco a poco ha venido perdiendo demanda, debido a la sustitución de los productos “no calóricos” en los alimentos azucarados, principalmente en bebidas, cereales y productos lácteos, según el último informe del Análisis Sectorial del Mercado de Edulcorantes (SE, 2012). Por lo tanto, la caña de azúcar, se verá obligada a diversificar e intensificar sus subproductos como el alcohol, el bagazo y sobre todo el etanol.

1.5.3 La producción orgánica de la caña de azúcar

Como se ha mencionado anteriormente, el azúcar siendo uno de los alimentos de la canasta básica en diferentes países, juega un papel importante en la dieta de millones de personas, pero que se ha colocado en juicio ya que se le relaciona fuertemente con los problemas de alimentación como la obesidad y la diabetes. La resolución a este problema es alzar la demanda de alimentos orgánicos y se disminuya un proceso industrializado, es decir, sea de un origen más natural sin menos químicos y conservadores y más propiedades naturales para el organismo humano.

Por ello, la relevancia del mercado orgánico ha ido al alza en los últimos años y la caña de azúcar ha hecho lo posible para no descartarse de la lista de alimentos orgánicos: en 1987 se crea Green Cane Project derivado de Balbo Group con el objetivo de producir caña de azúcar de una manera más sustentable para una mayor conservación ecológica y de cultivos. Los estudios posteriores para poder iniciar con el proyecto, tardaron 10 años, hasta que en 1997 obtuvieron su certificación como Native Production Cycle (nativealimentos.com.br, 2016), este proyecto se vuelve el primero en la sustitución de fertilizantes y pesticidas por control biológico, islas de biodiversidad para conservación de otras especies de fauna, equipos de cogeneración para alimentar molinos y sobre todo el impulso de cosecha en verde para la no quema de cañaverales. Como resultado, han neutralizado una emisión de más de 25,000 toneladas de CO₂, un aumento de rendimiento por hectárea, una mayor resistencia a sequía y plagas entre otros beneficios sociales, según los estudios de Green Cane Project (global-organics.com, 2016).

Actualmente la producción orgánica de caña se ha ido expandiendo a otros países como Paraguay, que se coloca como el principal productor de caña de azúcar orgánica (paraguayorganico.org.py, 2016).

Para poder iniciar una producción certificada por los organismos de productos orgánicos (como USDA Organic, USA., Fair Trade, Fair for Life, entre otros), es necesario seguir una serie de requisitos para cumplir con los estándares de calidad que se exigen a la hora de cultivar caña orgánica. A continuación un resumen de los requisitos:

- Preparación del suelo: en esta etapa, el suelo debe de cumplir un mínimo de 3 años limpio de fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y cualquier otro agroquímico. De igual manera, queda prohibido el uso de la quema de residuos y rastrojo como herramienta de limpieza y se pide una labranza mínima para los surcos.

- Siembra: se puede sembrar diferentes tipos de caña, según su periodo de maduración, estos son; temprana, mediana o tardía. La semilla se aloja de manera manual entre los surcos, los cuales deben de tener un mínimo de 40 cm de profundidad y una densidad de 1.40 cm; la semilla se cubre inmediatamente para evitar daño por la luz solar.

El periodo de siembra se lleva a cabo entre los meses de febrero y marzo para las cañas de maduración temprana y los meses de julio y septiembre para las plantaciones tardías.

- Tipo de caña de maduración temprana acreditada: RB 83 5486, RB 85 5536, SP 81 3250, SP 80 1842.
- Tipo de caña de maduración mediana: RB 85 5536, SP 80 185, RB 83 5486.
- Tipo de caña de maduración tardía: RB 72 454.

- Fertilización: para una hectárea las proporciones deben de ser 25 kilogramos de nitrógeno, 150 kilos de fósforo y 100 de potasio para soca; próximas resocas la cantidad es 80 kilos de nitrógeno, 30 kilos de fósforo y 120 kilos de potasio por hectárea. Se permite el uso de cal, siempre y cuando no exceda una dosis de 1000 kg por hectárea para el fondo de los surcos en caso de no tener estudios previos de suelo. Es obligatorio el uso de abonos verdes (estiércol de gallina o de vaca, hiperfosfato natural u otros en ésta categoría).

- Control de malezas: Las escardas para la eliminación de malezas se realizan de manera manual, después de la aplicación del abono verde. Esta operación solo se hace de 2 a 3 veces durante el ciclo de cultivo.

- Control de plagas: Se realiza por medio de la aplicación de control biológico para las principales plagas, en este caso, el *Diatraea saccharalis*, mejor conocido como “gusano barrenador” que perfora la caña y merma el producto. Para este problema se ha desarrollado una avispa de nombre *Cotesia flavipes* para la eliminación de la oruga. En otros campos experimentales de México y Brasil se ha

hecho el intento de la aplicación de un hongo que combata la mosca pinta *Beauveria bassiana* y el grillo *Metarhizium anisopliae*.

- Renovación y rotación de cultivo: Las resocas, no deben de exceder de 5 años ya que afectan a la productividad de la planta y hay que dejarse reposar la plantación de caña por no más de dos años. Durante ese periodo es recomendable usar ese espacio para la plantación de otros cultivos, principalmente leguminosas o algodón y seguir abonando la tierra con fertilizantes verdes.

Posteriormente, existe otra serie de requisitos que entran en la categoría del procesamiento de la caña por parte del ingenio, los requisitos abarcan los procesos como: tratamiento de caldo, evaporación del jugo, cristalización de melado, secado, envasado y otros sub-productos.

El principal incentivo financiero debe iniciarse por el ingenio, ya que la certificación se relaciona con los productos finales que se ofrecen en el mercado; los mercados orgánicos que generan la certificación, en el caso de la producción de caña, se comunicarán en primera instancia con el ingenio de la región. Los costos para preparar la producción orgánica de caña varía de los 23,000 a los 27,000 pesos mexicanos por hectárea, sin embargo el pago por tonelada de caña de azúcar aumenta hasta en un 15% del precio de mercado, esto es, aproximadamente 337 dólares, dependiendo de la negociación directa que tenga el ingenio con los acreedores, ya que no existe un mercado referente de caña de azúcar orgánica y se puede caer en el error de igualar el precio de caña orgánica con la no orgánica.

La certificación emitida, será de acuerdo con los requisitos de la organización a la que se piense afiliar el productor, ya que cada uno varía en los requisitos y estándares solicitados, aunque entre ellos son requisitos similares, sobre todo en los estudios y transparencia sobre la calidad del suelo donde se piensa cultivar el producto.

En México, la producción de caña de azúcar orgánica resulta aún un proyecto muy joven que sólo se ha puesto a prueba en dos de los catorce estados productores de caña; Michoacán y Puebla. Sin embargo, no hay registros o investigaciones oficiales que le sigan la pista en cuanto a producción, demanda y certificación, sobre todo para el caso de Michoacán.

La información a la que se ha tenido acceso en esta investigación se resume en noticias locales por parte de zafranet que cronológicamente expresa la dificultad de producción y baja rentabilidad que han experimentado ambos estados. En el caso de Puebla se presenta;

Tabla 2. Publicaciones sobre producción de caña orgánica en México. Fuente: zafranet.com, caña orgánica, 2016.

| Fecha de publicación | Encabezado de noticia |
|------------------------|---|
| Enero 6 del 2009 | “A marchas forzadas para la certificación: Calipam ⁴ ” |
| Enero 7 del 2009 | “Calipam pide paciencia con la caña orgánica; libres de químicos, plagas y contaminantes” |
| Marzo 4 del 2009 | “Amenazan cañeros de Calipam cierre de carreteras y movilizaciones” |
| Julio 15 del 2009 | “CNPR no está de acuerdo con pagar \$380 por tonelada: Calipam” |
| Julio 20 del 2009 | “CNC paga \$380 pesos por tonelada en Calipam ya que el precio de traslado es mayor” |
| Agosto 16 del 2010 | “CNPR Calipam: producción orgánica no es rentable” |
| Septiembre 13 del 2010 | “Calipam lucha por no perder su certificación de azúcar orgánica” |
| Junio 9 del 2011 | “Suspenden producción de caña orgánica en Puebla” |
| Enero 4 del 2013 | “Mantener los suelos según los acuerdos es difícil y costoso” |

⁴ Ingenio azucarero activo en el estado de Puebla.

La producción de caña de azúcar orgánica a nivel mundial, va en aumento ya que la demanda por parte de los productores crece, principalmente en los países europeos y como segundo consumidor los E.U.A. En el caso de México, aún falta iniciativa por parte de los ingenios para introducirse en la certificación orgánica. Por lo tanto, se necesita darle seguimiento en los casos nacionales para conocer las barreras internas y externas de la producción orgánica.

2. REFERENCIAS DE VALORACIÓN AMBIENTAL

En la escuela clásica económica, Alfred Marshall en 1890 introduce el concepto de “fallos de mercado” en su libro conocido como “Principios de Economía”, dando a entender que el supuesto de los modelos y de la teoría económica estaba simulando un escenario donde la especulación y la sabiduría, tanto del mercado como del gobierno, era la suficiente como para que el sistema económico no tuviese problema alguno, lo cual estaba lejos de la realidad (Fuster, 2006).

Dentro de sus propias investigaciones, se percató de la línea de costos de una empresa, que de ser constante, por motivos no explicados, empezaba a reducirse sin que la empresa misma lo hubiese planeado. Lo anterior se debía a los acontecimientos que pasaban en el entorno de la empresa como; la expansión de mercados, el nivel de salud y de educación o el acceso de la mano de obra, y que funcionaban como un todo, consecuentemente se reflejó en los costes de producción. A este acontecimiento, lo interpretó como una “externalidad”, que para su caso, resultó de manera positiva (GLOOBAL, 2002).

Posteriormente Pigou en 1920 desarrolla el concepto de un efecto externo por “factor de no mercado” que a diferencia de Marshall, no solo podía significar un beneficio para la empresa, sino también un coste para la empresa y también a la sociedad o a la naturaleza.

Estos costes recaen sobre agentes indirectamente involucrados a la producción, el ejemplo más citado de Pigou es: el incendio de un bosque vecino a las vías del ferrocarril que se incendia por las chispas producidas por la locomotora al tomar su ruta, éste mencionado en su trabajo más influyente “Economía del Bienestar”. Con este trabajo, Pigou se ha considerado como el precursor de la Economía Ambiental al considerar temas relevantes como la distribución de riqueza, el desempleo, la diferencia entre el costo marginal privado y el costo marginal social y sobre todo la introducción del concepto de *externalidad* como se conoce en la actualidad (Derbéz, 2011).

Pigou justifica que es necesaria la intervención del gobierno, ya que la razón de la existencia de una externalidad negativa que pudiese repercutir sobre la naturaleza

o la sociedad, también afectaba en el rendimiento de la empresa quien emanaba esa externalidad negativa. Por lo tanto, el gobierno debe de introducir un impuesto que *retorne a la situación inicial, sin el daño ocasionado*. El papel del gobierno también consistiría en convencer a la empresa de que representa una inversión hacia sí misma y que resultaría mucho más barato pagar el impuesto que pagar el daño ya hecho. Esta idea se aborda como *impuesto pigouviano* (Fuster, 2006).

La finalidad del impuesto pigouviano es la internalización de la externalidad al sistema de producción, por medio del mismo sistema de precios. Posteriormente con Pigou, nace el concepto de instrumento de políticas públicas cómo “el que contamina paga” para encontrar un punto de conformidad entre los intereses privados y los sociales (Mendezcarlo, 2010).

Años más tarde, en 1960 se publica “El problema del coste social” por R.H. Coase, retomando el punto de partida de Pigou, aseguraba que no era necesaria la intervención del gobierno, sino que el problema ambiental, recaía en el hecho de que no existía un mercado de “bienes ambientales” y que había que dejar que los agentes que contaminaban negociaran con los agentes afectados para que llegasen a un acuerdo entre ellos mismos llegando a un punto de “eficiencia económica”. Sin embargo existen muchas limitantes del Teorema de Coase por diferentes puntos;

- La defensa de que el libre albedrío de negociación entre propietarios – *property rights*-, contaminantes y afectados a llegaría a un acuerdo óptimo para todos.
- Los negociantes son conscientes de la contaminación.
- El contaminador está perfectamente identificado.
- Los “bienes ambientales” están bajo propiedad privada.
- No se puede identificar un contaminante cuando se trata de un bien público (atmósfera, biodiversidad).
- Los supuestos del teorema implica: distribución justa, información perfecta, razonamiento objetivo.

- Es difícil definir el costo social de la externalidad negativa.
- El contaminador de manera “altruista” está dispuesto al pago y al costo de oportunidad por *ser consciente* de ser el contaminante.

La economía ha definido una externalidad como: “(...) *el beneficio o perjuicio que recibe un agente económico (ya sea consumidor o empresa) como consecuencia del acto de producción o consumo de un segundo agente económico.*” (Rocasolano, 2004).

Con los inicios de la Economía Ambiental aproximadamente de la década de los ochentas (Naredo, 2006) las aportaciones a la investigación de costos se han ido desarrollando –principalmente por economistas londinenses como David Pearce y Anil Markandya⁵- sobre el tema de los costos en relación con las externalidades negativas que genera *el mercado*, con el objetivo de la búsqueda de un modelo que equilibre la estabilidad natural con las necesidades de los consumidores.

Otras consideraciones, es el retorno del capital físico en capital natural en “La regla de Hartwick” (Van der Ploeg, 2008), Hartwick habla de la teoría de la sustentabilidad débil, el cual refiere a un nivel de capital cada vez mayor con el paso de las generaciones. La regla habla de tres tipos de capital: manufacturero, humano y natural, que pueden ser perfectamente sustituibles (es decir, pueden compensar una disminución de uno con el aumento de otro) la dinámica de los tres tipos de capital permiten un capital total constante a largo plazo. Por lo tanto, habla de una reinversión en el capital físico o humano (artificial) de la pérdida del capital natural para mantener un nivel constante del capital global; este hecho mantendría un nivel de sustentabilidad constante (Castro, 2009).

Por otro lado, aún existe discrepancia al respecto, ya que una de las variables fundamentales que considera es el ahorro neto o ajustado el cual estará en función del capital manufacturero más el capital humano menos el capital natural (dados los impuestos ambientales o desgaste en recursos naturales). El supuesto que maneja está sujeto a la condición de una sociedad no fragmentada –de mismo

⁵ Jacobs, M. 1996. “La economía verde”. ICARIA: FUHEM, Barcelona.

nivel de ingreso- y constante (sin contar el aumento de la población), además de la consideración del tiempo, es decir, que al mismo paso con que se consumen los recursos naturales, es el mismo paso en el que se consumen los ahorros.

Pese a lo anterior desde la década de los 60's William Kapp realiza una profunda crítica sobre el término de *externalidades* y *costo social*. Primeramente por el hecho del término etimológico del “externalidad” y su forma de uso por la economía era incorrecta y que el término caía fácilmente en un estado de negligencia, por lo tanto, el término “externalidad” debía cambiarse al término de “costo social”. Segundo, mencionaba que la externalidad como tal, no era exógeno al sistema de producción, al contrario, las “externalidades” impregnaban todo el sistema económico, especificando que la externalidad no era más que un fallo de transacción de costos de unos a otros.

El término de “costo social” según Kapp, debía manejarse como un costo *total* social derivado del propio sistema de producción, incluyendo los costos de oportunidad, de transporte o la mala distribución y su cálculo debía implicar la participación del marco institucional y el uso de nuevas técnicas (Swaney, 1989).

Kapp, se considera uno de los propulsores de la Economía Ecológica, por su crítica hacia la teoría neoclásica y sus consideraciones para el desarrollo económico ya que *“a la larga se llegaría a la situación absurda de que la economía debe crecer más y más para proteger a la ciudadanía y al medio ambiente de los daños colaterales causados por el crecimiento de la economía”* (Martínez-Alier, 2006). Kapp también, introduce otros temas controversiales que no habían sido considerados por la economía ambiental como: la contaminación de la atmósfera, los animales en peligro de extinción o la pérdida de biodiversidad.

La Economía Ambiental y otras derivaciones como la Economía Agropecuaria ha considerado prioridad en la cuantificación e incorporación de las externalidades por medio de los “costos ambientales” para facilitar la toma de decisiones que tienen impacto sobre el bienestar social y la distribución de los beneficios o responsabilidades, ya que permite visualizar la rentabilidad de un proyecto al

considerarse los costos al posible daño ambiental (como principio precautorio) en comparación con un escenario en la que no se prevén los costos de reparación después del daño causado.

En los primeros intentos de la incorporación de las externalidades al mercado, se puede encontrar “el mercado de bonos de carbono” principalmente en la Unión Europea, considerando dentro del documento “Estrategia 2020” que el precio por tonelada de emisión de CO₂ sea de 20 dólares y ésta cantidad iría en aumento, como lo menciona Claudia Octaviano (2011) en uno de sus documentos de análisis de externalidades:

“Las externalidades para las plantas estudiadas aumentarían a 221,6 millones de dólares en 2008. Si se considera el conjunto de las centrales, el impacto por cambio climático contribuye con 68%, el SO₂ con 28% y PM₁₀ y NO_x con 2% cada uno. Si se incluye el impacto del cambio climático calculado indirectamente mediante un precio de referencia de 20 dólares por tonelada de CO₂, el costo de las externalidades aumentaría entre 0,87 y 2,32 centavos de dólar por kWh. El promedio ponderado por la generación de las centrales analizadas es de 1,57 centavos de dólar por kWh, al considerar los impactos por contaminantes primarios y secundarios y por GEI.”

La cuestión se centra, en que si realmente ponerle un precio a las toneladas cubrirá las externalidades físicas –como la destrucción de un bosque- o si la minimización de un alto valor simbólico y representativo, deba igualarse a un valor monetario; autores como Aguilera Klink, David W. Pearce, Fischer, Martínez-Alier y Naredo (1994) representan la nueva generación de la Economía Ecológica se basan principalmente en ésta crítica.

Víctor Toledo, otro pensador de la corriente de la economía ecológica presenta su teoría del “Metabolismo Social” (2013) en que menciona que dentro de cualquier tipo de sistema, se manejan subsistemas y suprasistemas, así como elementos, componentes y funciones de las cuales se requieren *inputs* y *outputs* en el cual un sistema requiere de insumos y recursos. Dichos insumos entran a un sistema de interacción para luego obtener un resultado -negativo o positivo-, éstos son

llamados “salidas” o “outputs”. En el sistema de producción de la caña de azúcar, se puede simular según las características de la teoría de Toledo y clasificar cuáles son sus “salidas”, si estos resultan positivos o negativos, en la disciplina económica y si deben de ser introducidos o no al Costo Total de producción.

Existe otro enfoque de mejoramiento de inputs y outputs como lo es la hipótesis de Michael Porter (1999, citado por Ramos, 2001) donde se apuesta por la innovación y el avance de la tecnología para el impulso de las capacidades de competitividad en las industrias, siempre hacia un mejoramiento y no necesariamente en las dotaciones de factores.

En 1992, las negociaciones internacionales convocaron a la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro donde se crean la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) y la Convención Marco de las Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC), esta última Convención se junta cada año por medio de como “Los acuerdos de Bali” y “Los acuerdos de Copenhague” así como las “COP’s” (Conferencia de las Partes) que vienen siendo una extensión del Protocolo de Kyoto (Salazar, 2010); con el objetivo de enfatizar las problemáticas que provocan las emisiones de gas efecto invernadero que parten de la premisa de la seguridad alimentaria, sin poner en riesgo los ecosistemas permitiendo un desarrollo económico sustentable. Además, comparte el principal objetivo de reducción de emisiones: lo previsto es una reducción del 5.2% a nivel mundial, dónde la Unión Europea tiene mayor compromiso, mientras que el resto de los países involucrados, no determinaron un nivel preciso, tal es el caso más comentado: los Estados Unidos.

Si bien el “Desarrollo” y todos sus derivados (subdesarrollo, maldesarrollo, desarrollo sustentable, etc.) ha sido “exclusivo” del estudio de la Economía, el intento de la cuantificación de los recursos naturales está fuertemente engranado al crecimiento económico y al bienestar civil (Unceta, 2015). La idea parte de que si el recurso puede ser cuantificable y medible, es más fácil empezar un método de reducción o de control que se manejará dependiendo de la dinámica de oferta y

demanda adaptado a un contexto ambiental (o más bien el medio ambiente a la oferta y demanda).

Algunas de las herramientas (o intentos) de ésta cuantificación son coordinadas por instituciones internacionales tales como el Banco Mundial o el Fondo Monetario, nos referimos a los Bonos de Carbono, los MDL's o en su caso más reciente las (Acciones de Mitigación Apropiadas) NAMA's –por sus siglas en inglés-, entre otros, que tienen una dinámica de bonificación monetaria para aquellos proyectos que logren reducir las emisiones GEI. A pesar de estar sobre la misma línea de una dinámica de crecimiento económico, resulta efectivo en alguno de sus casos, especialmente para la actividad de reforestación. En el último capítulo serán abordadas éstas herramientas de manera más precisa para el caso de estudio.

A continuación, se mencionan otras maneras de cuantificación que se han implementado para los recursos naturales.

2.1 Impuestos pigouvianos

Una de las herramientas más conocidas en la política pública como incentivo económico hacia la industria son los impuestos pigouvianos, después de considerarse los daños ambientales y sociales “externos” al mercado, el impuesto consiste en tener un equivalente entre el coste marginal (de la industria) y el coste social causado (disminución de bienestar). Este instrumento se ha utilizado principalmente en el mercado de emisiones.

Sin embargo, desde una perspectiva fuera de la teoría neoclásica económica, esta herramienta tiene como objetivo no detener los mecanismos de mercado en el que autónomamente los negociantes y compradores llegan a un acuerdo eficiente (punto eficiente). Además tiene otras restricciones (supuestos) específicos que se deben de cumplir para que la aplicación del impuesto funcione de acuerdo a la teoría:

“De hecho, únicamente parece adecuado confiar en este tipo de instrumentos en los casos en que exista una institución encargada de valorar decisiones de inversión o de asignación de cuotas de producción tomando en consideración las diferentes posibilidades o las ofertas presentadas por distintos agentes. La función de tal institución sería la de evaluar y comparar las alternativas disponibles, valoradas no por su coste privado sino por el coste social incluyendo los suplementos apropiados, aunque el precio de intercambio de la mercancía correspondiente no sería otro que su coste marginal privado.” (Elena, et. al, 2002).

2.2 Herramientas de evaluación ambiental

Según Martínez-Alier (2006), con la internalización de los costos ambientales ya sea desde la perspectiva económica ambiental o económica ecológica, se ha intentado tener claro de qué manera se compone el costo y que implicaciones tiene en la función de producción. De tal manera que, se han hecho clasificaciones de los diferentes tipos de costos ambientales que implica una valoración completa del daño ambiental. Sólo por algunos a mencionar, se encuentran:

- Costo de viaje: se considera como el coste de transporte por parte de los consumidores y su disponibilidad a pagar por dicho bien. Usado principalmente para áreas de reserva o recreativos, por ejemplo, el costo que implica realizar un viaje a cierto río o el coste por acampar en un bosque.
- Precios hedónicos: el pago extra por un bien o servicio que tienen características que figuran algún beneficio ambiental, usado principalmente en bienes raíces ahora en las casas amigables con el medio ambiente que tienen características como paneles solares o ser insonoras y que llegan a costar más que una casa común.
- Costo social: la valorización de la pérdida de capital y la pérdida de bienestar que implican los problemas técnicos y la moral dentro del mismo complejo de ponerle un valor monetario a una vida.

- Costo de reparación: el coste monetario que supondría reparar el impacto ambiental una vez hecho.
- Costo de impedir (evitar): implica el principio de precaución o de costos de reparación a futuro.
- Valoración contingente: se basa a partir de un censo entre los agentes más cercanos a la situación ambiental y se les pregunta directamente que valor monetario se le puede otorgar por medio de dos formas; disposición a pagar (DAP) o disposición a aceptar compensación (DAA). La primera se usa ya sea para obtener un bien ambiental o para evitar un perjuicio, en el segundo caso se aplica a quienes sufren un perjuicio y cuánto valoran la compensación para aceptar la situación sin protestar.

En todos los casos anteriores, la complejidad se expande al involucrar la ética por parte de los emisores de contaminación y su derecho de propiedad ya que no todos los recursos naturales son de dominio privado y no todo el daño –en casos extremos- tiene un valor monetario (Ibid).

2.3 Huella Ecológica

La Huella Ecológica es un indicador que fue definido por William Rees y Mathis Wackernagel en 1996 que mide la porción necesaria de recursos naturales que requiere una persona para vivir en relación a su consumo. La principal unidad de medida son hectáreas, pero a raíz de la Huella Ecológica se han derivado otras como la Huella Hídrica o la Huella de Carbono, que tienen la misma función pero con la subdivisión según el recurso natural.

La metodología para el cálculo de la Huella se define en función de diferentes variables según categorías, en las que se encuentran cultivos, pastoreo, bosques, mares, terrenos construidos (infraestructuras) y áreas de absorción de CO₂.

La Huella Ecológica permite al individuo tener una noción de cuánto impacto (desechos) está generando su estilo de vida y cuánta podría ser la capacidad del Planeta en remediarse después de eso (SEMARNAT, 2012).

2.4 Contabilidad nacional de recursos naturales

Según Choy (2013), la ONU plantea el manual de contabilidad nacional llamado Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada, la cual contiene una estructura de cuentas satélites (escala macroeconómica), usadas para las cuentas nacionales, que maneja información relacionada con el medio ambiente y las unidades de producción (por ejemplo volumen de energía watts en el sector automotriz) y se compara con la información macroeconómica (unidades monetarias).

Las cuentas satélite, maneja temas de marco central como educación, transporte además del medio ambiente, entre otros. Los temas se clasifican y se ordenan de manera que sean fáciles para la lectura de los datos del tema en específico.

Para la escala microeconómica, Choy (2013) habla sobre el Plan de Cuentas:

“Una estructura contable de cuentas ambientales en términos físicos, explica la existencia de un conjunto de clases que refleja las categorías más significativas de un ente y comúnmente se le denomina Plan de Cuentas, (...) La equivalencia mencionada anteriormente hace referencia a la relación que debe existir entre los elementos de una transacción, así, las salidas correspondientes a los productos elaborados por una empresa, deben relacionarse en una cuenta que sea equivalente a las entradas de productos utilizadas por otro ente. El Plan de Cuentas es un instrumento concebido para armonizar y unificar el sistema contable de los principales sectores de la economía, además de mejorar las cualidades de la información contable y proporcionar beneficios a los usuarios, sirva para reconocer las relaciones entre la economía y el ambiente desde un punto de vista físico (flujos no monetarios), a través de un modelo contable ambiental que armonice y unifique con cierta flexibilidad la información.”

Los recursos naturales estarían dentro de los informes contables y generará un valor agregado a la toma de decisiones. La manera de clasificar los elementos de la cuenta nacional sería en tres categorías:

- Patrimonio; residual una vez deducidos los pasivos.

- Pasivo; obligación presente, que para cancelarla se debe de incorporar stock monetario.
- Activo; recurso controlado en el presente del que se espera obtener beneficios en el futuro de manera directa o indirectamente (los flujos de efectivo y de otros equivalentes al efectivo de la entidad) (Choy, 2013).

Otras herramientas utilizadas en la contabilidad de recursos naturales, es la Matriz Insumo-Producto que muestra datos desagregados entre la demanda final (demanda de bienes y productos producidos para consumo, importación o exportación en un año fiscal) y los datos del consumo intermedio (flujos intersectoriales de bienes y servicios que son sólo ocasionalmente). Sin embargo, este sistema no ha sido muy claro ni muy utilizado por otras naciones aparte de Chile (Malman, 1994).

La crítica que nace con el sistema de contabilidad nacional, es su base práctico de la necesidad de aumentar el crecimiento económico para no detener el consumo, es decir, invertir en el recurso que no se discontinuará en el consumo. El problema está en que los recursos naturales (sólo los renovables) cuando sufren una disminución de patrimonio, aparece como un ingreso neto como si éste fuese inagotable o que será compensado con el descubrimiento de nuevas reservas, lo cual según Martínez-Alier (2006) no ocurrirá.

2.5 PIB Verde

El esfuerzo de instituciones internacionales como la ONU, PNUMA y otras en visualizar las incertidumbres de los daños ambientales; el caso de los costos ambientales, ha hecho impulsar nuevas estrategias de conteo de los recursos naturales en las cuentas nacionales. Se trata de considerar a la naturaleza como “capital natural” (bosques, lagos, ríos, etc.) de tal manera que si existen cambios en éste, será mucho más fácil tomar decisiones que garanticen la estabilidad del recurso en la situación (PNUMA, 2011). Se tienen tres principales objetivos por parte de la PNUMA: el suministro de recursos naturales para la producción, la

absorción de desechos (basura) y mantener constantes las funciones vitales de la comunidad biota de cada región (biodiversidad, agua, nutrientes en el suelo, otros).

El caso del PIB verde se considera que cualquier sistema económico debe de incluir los términos ambientales como una dimensión importante en el funcionamiento de producción e implica un costo de “desgaste” de los recursos naturales. El planteamiento de contabilidad que representa el PIB verde implica obtener datos ambientales cuantitativos y valorar en términos económicos (monetarios) (Silva, 2011).

Las críticas que realiza Martínez-Alier (2006) con la obsesión de contabilizar los recursos naturales, advierte que los recursos no deberían verse como un capital que está creado para ser explotado y que es muy difícil contabilizarlo en el PIB⁶ ya que la venta o el agotamiento es una descapitalización que no puede ser reconocida como “producción” porque resultaría como la venta de una heredada y agrega:

“La explotación de recursos agotables genera fondos líquidos que se usan de distintas maneras (consumo o inversión), pero que no son propiamente un nuevo ingreso en los términos reconocidos por la contabilidad nacional. Considera como ingresos todo lo obtenido por la venta del recurso explotado plantea una falsa ilusión que sobredimensional el auge y que, a mediano plazo, será contraproducente, pues al despilfarrarse estos llamados ingresos y al agotarse el recurso habrá una contracción irremediable, como en cualquier otro caso de un activo agotado que no ha sido amortizado.”

2.6 Valoración ambiental en el sector cañero

Los trabajos que pretenden internalizar los costos ambientales dentro de un modelo económico se encuentran trabajos como “Costos Ambientales y Eficiencia

⁶ Considerando que el PIB per cápita sólo considera dentro de su metodología el consumo privado, el gasto público, más las inversiones privadas más lo que resulta de las exportaciones e importaciones de productos. Pero en el cálculo del PIB no se considera a la “tierra” como una variable que se aprecie o deprecie.

Productiva en la Producción Agraria del Partido del Pergamino” (Cabrini, *et. al*, 2013) quienes se acercan en la búsqueda del equilibrio de la eficiencia de producción y la explotación de los recursos, sin llegar a su agotamiento o riesgo de bienestar (cálculo de límite de explotación de recursos naturales). Su metodología consiste en el censo de los diferentes costos de producción y de la pérdida de suelo con un balance de nutrientes, pérdida del suelo para luego estimar los valores de los efectos ambientales y asignar los costos por erosión y los costos de reemplazo.

Trabajos como Mariana Conte, acerca del Mercado de Bonos de Carbono, ayuda a darnos una cercanía de cómo asignar costos a las emisiones y principalmente las aportaciones de Carlos Romero López, sobre Economía Ambiental y Ecológica, modelos económicos con integración de externalidades, costos ambientales, indicadores y contabilidad de recursos naturales.

La ingeniera Guadalupe Romero (2012), presenta "Sustentabilidad de la Agroindustria de la Caña de Azúcar" en donde el objetivo del proyecto es la determinación de nivel de sustentabilidad en el aprovechamiento de producción. Su metodología se basa en la separación de variables en dos categorías; en producción y en protección (fábrica y campo), luego pasa a filtrar las variables más significativas y las califica en un rango del 1 al 5 según sus características.

Existen investigaciones relacionadas con las emisiones a partir de la producción de caña, como los trabajos de Violeta Mugica (2012, Veracruz), Hannia Thiele (2010, Costa Rica) en la medición de contaminantes atmosféricas por actividad azucarera en sus respectivas regiones. En éstos trabajos se concentran principalmente en la cantidad de dióxido de carbono a partir de las actividades del proceso de azúcar. En el caso de Brasil, como potencia mundial en producción de caña, sus preocupaciones se enfocan en la producción de etanol como otro gran derivado además de la azúcar, tal como lo exponen la FAO en colaboración con la CEPAL en el 2008, Joel Velasco (2013), la Organización Internacional del Azúcar (2012) o artículos en bioenergyconnection.org, The Brazil Business o SciDevNet, las tres en el año 2013. En Colombia, el enfoque de producción se basa en

piloncillo o panela, mientras que en Paraguay existe un liderazgo en la certificación de producción de caña orgánica. En otros países como Perú y Guatemala, existe una inclinación profunda a la producción de caña por ser una actividad de antigüedad y generación de empleo, pero no se ha encontrado a momento trabajos específicos en materia de emisiones GEI por quema de caña en esos países (Cengicaña, 2014. Osorio, 2007).

En materia de mitigación de emisiones GEI o medidas más sustentables en la producción de caña y azúcar, se pueden encontrar trabajos como el de Javier Morales de Universidad Veracruzana (2011) y de Georgina Olivo de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (2013). Pese a esto, el enfoque de las investigaciones es hacia el papel de los Ingenios, es decir, al proceso industrial del azúcar y no a los procesos del cultivo de caña, es decir, a la agricultura. Sin embargo, no descartaremos estos trabajos, ya que tienen peso en el papel de propuestas para procesos de carácter sustentable para la producción de caña de azúcar.

3. ANÁLISIS DEL MARCO JURÍDICO DEL SECTOR CAÑERO

La metodología implementada para la investigación tendrá dos categorías: la política y la económica.

En la categoría política, se analizan las principales leyes, normas, reglamentos y programas implementados específicamente en el sector cañero, los ejes de acción que están relacionados con la producción sustentable de la caña y aquellas que estén en materia de la mitigación de emisiones de GEI, por medio de la aplicación de la metodología *Top Down-Bottom up*, según Hjern (1997).

3.1 México y los acuerdos internacionales: Sustentabilidad y Cambio Climático

***Asamblea General de las Naciones Unidas.- Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**

En este acuerdo se exponen los nuevos 17 objetivos y 169 metas del milenio 2016-2030 divididos en tres dimensiones: la económica, la social y la ambiental y se subdividen según el tema emergente: las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y las alianzas. Los objetivos están dentro de una proyección de cumplimiento para los próximos 15 años, y se derivan de los propósitos y principios de la Carta de las Naciones Unidas.

En el estudio se centra en los objetivos relacionados con el cambio climático y la mitigación de emisiones GEI y de la manera en que México se compromete con las metas acordadas:

- El planeta: Según el acuerdo el objetivo para la categoría ambiental expone que *“Estamos decididos a proteger el planeta contra la degradación, incluso mediante el consumo y la producción sostenibles, la gestión sostenible de sus recursos naturales y medidas urgentes para hacer frente al cambio climático, de manera que pueda satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.”* (UN, 2015).

El discurso que maneja con respecto a los retos ante el Cambio Climático la Carta de las Naciones Unidas, actualizado en el 2015 y con propósitos a cubrir hasta el 2030 se centra en el agotamiento de los recursos naturales, la necesidad de la estabilidad de paz e integridad mundial para poder lograr un mercado justo y sustentable:

“Reconocemos que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático. Estamos decididos a encarar resueltamente la amenaza que plantean el cambio climático y la degradación del medio ambiente”, “(...) subrayamos que todos los Estados se comprometen a esforzarse por lograr un acuerdo sobre el clima que sea ambicioso y universal. Reafirmamos que en el protocolo u otro instrumento jurídico o conclusión acordada con fuerza legal en el marco de la Convención y aplicable a todas las partes que se apruebe deberán abordarse de manera equilibrada cuestiones como la mitigación”.

Enfatizan la importancia de la intervención de instituciones financieras internacionales en apoyo y respaldo a los países que buscan empezar a realizar una producción sustentable y una reducción de sus emisiones GEI en combate al cambio climático, de tal manera que el papel de las políticas públicas, la gobernanza y las normas económicas en las tres escalas –internacional, nacional y regional- serán clave para el cumplimiento de los acuerdos:

“Anunciamos aquí la entrada en funcionamiento del Mecanismo de Facilitación de la Tecnología que se estableció en la Agenda de Acción de Addis Abeba con el fin de apoyar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El Mecanismo de Facilitación de la Tecnología se basará en un marco de colaboración múltiple entre los Estados Miembros, la sociedad civil, el sector privado, la comunidad científica, las entidades de las Naciones Unidas y otras partes interesadas, y estará integrado por un equipo de tareas interinstitucional de las Naciones Unidas sobre la ciencia, la tecnología y la innovación en pro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, un foro de colaboración entre múltiples interesados sobre la

ciencia, la tecnología y la innovación en pro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible". Este mecanismo es acorde con el objetivo 17 "*Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible*" que habla sobre los temas de comercio justo, apoyo financiero, principalmente a países en desarrollo, acceso a la tecnología y la creación de capacidades entre comunidades y géneros por igual.

Dentro de los 17 nuevos objetivos acordados por la Carta de las Naciones Unidas, se resalta el objetivo 13, ya que son los más acordes al tema de investigación:

"Objetivo 13. <<Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos>> 13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales; 13.a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible."

3.2 Metodología Top Down-Bottom Up en el marco legislativo del sector cañero

Se utilizará la metodología *Top-down /Bottom-up*, según Hjern (Malan, 1998), en la cual se presenta la red de participantes en una dirección de "abajo hacia arriba". Según este modelo, para la implementación de políticas públicas, primero se deben conocer las estructuras locales en las que se aplicarán. Además, al usar el método *Top-down* se tiene una integración sobre cuáles son los objetivos de las autoridades y de cómo deberían implementarse las políticas, según la claridad y la coherencia de los acuerdos y los programas. El método *Bottom-up* permite agregar los factores organizacionales y los intereses locales de quienes

experimentan la aplicación de las leyes, así como exponer sus fundamentos para considerarlos en la re-estructuración o en la creación de políticas nuevas.

Se ha utilizado como muestra a 22 cañeros que trabajan la Huasteca Potosina Norte. Ellos han respondido una encuesta de aproximadamente 45 preguntas. Los resultados han servido como herramienta para la integración de los fundamentos “de abajo a arriba”, en el contexto de la producción de caña de azúcar. Con ello, se busca destacar las deficiencias en las acciones políticas respecto a las necesidades locales, principalmente las de los cañeros, así como identificar oportunidades para el sector, como los programas del INECC en la mitigación de emisiones GEI y algunos acuerdos internacionales.

Por lo tanto, para analizar la situación actual del sector cañero se consideran las organizaciones cañeras locales y se busca conocer sus necesidades; también se propone la participación y la actitud democrática entre los actores principales, se señalan debilidades de los programas y se proponen nuevas medidas de adaptación que conduzcan hacia una producción sustentable en el sector.

Este análisis sobre el marco normativo abarcará desde el 2005 hasta el 2015; las principales políticas aplicadas en la toma de decisiones del sector cañero en México en materia de la mitigación de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) generadas del proceso de producción de la caña de azúcar; considerando la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, Ley del Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar 2005, el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2014 y la Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí, con el método Top-down/Bottom-up el cual integra las perspectivas de quienes participan como autoridades y como agentes directos en el sector.

Por lo tanto, se analiza la situación actual del sector cañero en la Huasteca Potosina Norte a partir de los trabajos existentes y trabajo de campo –aplicación de encuestas y entrevistas-, se consideran las organizaciones cañeras locales, se conocen sus necesidades, se estimula la participación y democracia entre los actores principales, se señalan debilidades de los programas y se proponen

nuevas medidas de adaptación que encaminen hacia una producción sustentable del sector cañero, por consiguiente, la resolución de sus principales problemas.

3.3 Top Down: la Legislación sobre Cambio Climático

3.3.1 Los estatutos de las Leyes en materia de Cambio Climático y mitigación de gases GEI en México.

Según la Secretaría de Energía en conjunto con SAGARPA, exponen en el reporte de “Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México” (2009) que el impulso de la producción orgánica no sólo de caña de azúcar, sino también de un abanico de cultivos, es con la finalidad de la conservación de la fertilidad del suelo, a la actividad biológica y a la disminución de recursos no renovables en la producción agraria que repercuten directa o indirectamente en la salud humana y el medio ambiente. Por ello, la producción de la caña de azúcar no es particular de la producción de azúcar, sino también para la producción de bagazo que, después de la leña, es fuente de bioenergía usada principalmente por los ingenios azucareros como electricidad y energía para calderas.

Las metas que se cumplen son el ahorro de energía eléctrica usada en el sector industrial, el uso de combustible y la contaminación en el agua y aire, de tal manera que se previene un impacto mayor al ambiente y a la flora y fauna regional.

En el informe, se tenía planeado que para el año 2012, se llegara a un aproximado de 188,000 hectáreas sin necesidad de quema en periodo de zafra, de tal manera que se evitara arrojar 430 mil toneladas de bióxido de carbono según los IEEE (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones) utilizados para proyectar futuros cambios de temperaturas y precipitaciones en base a la combinación de diversas variables en diferentes modelos de estimación, pero no existe algún otro documento actual donde se confirme si la meta se cumplió o no.

***Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988:
Última reforma publicada DOF 13-05-2016.

Establece las bases para garantizar el derecho a toda persona de vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. Es la encargada de definir los principios, instrumentos y herramientas de la política ambiental para su aplicación en el país con el objetivo de la preservación, restauración y mejoramiento del ambiente, así como la disminución de la contaminación del aire, agua y suelo.

***Ley General de Cambio Climático**

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012: Última reforma publicada DOF 02-04-2015.

Esta Ley fue promulgada el 6 de junio del 2012 bajo el gobierno de Felipe Calderón con una última reforma el 2 de abril del 2015, bajo la administración de Enrique Peña Nieto.

La Ley se rige bajo un objetivo expresado en su segundo artículo que menciona: *“Garantizar el derecho de un medio ambiente sano”* y establecer las facultades para la elaboración y aplicación de políticas públicas en materia en adopción al cambio climático así como para la mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero. También tiene por objetivo regular las emisiones GEI según lo previsto por el 2do artículo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, entre sus 7 objetivos, el último expresa *“Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono”*, siendo acorde con el caso de estudio del sector cañero.

En su artículo 7, menciona los puntos criterios para los sectores que se aplican para el monitoreo y evaluación de emisiones, también enlistan las herramientas y métodos para la mitigación de emisiones GEI y adopción al cambio climático, entre ellos *“Formular y adoptar metodologías y criterios...”* para el monitoreo de

actividades de los sectores, industrial, transporte, residuos, agrícolas entre otros. En el punto XVI del mismo artículo expresa como atribuciones de la ley: *“Elaborar y promover metodologías para la valoración económica de las emisiones”* entre otros 28 puntos donde expresan la necesidad de diseñar, determinar, colaborar, convocar, desarrollar, elaborar y expedir evaluaciones, programas, leyes y nomas en los diferentes sectores económicos para poder alcanzar un nivel sustentable a futuro. De igual manera el artículo 8 menciona *“Incorporar en sus instrumentos de política ambiental, criterios de mitigación y adaptación al cambio climático”*.

El artículo 9 desglosa las disposiciones y atribuciones que tendrán los municipios, entre ellos la congruencia entre el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional y el Programa estatal en material de cambio climático y en materia de diferentes actividades tales como: ordenamiento ecológico, protección civil, manejo de residuos, transporte y otros, pero la cual no especifica actividades agrícolas.

Dentro de los objetivos que se presentan en el artículo 15, hace mención de *“Realizar análisis de prospectiva sectorial, y colaborar en la elaboración de estrategias, planes, programas, instrumentos y acciones relacionadas con el desarrollo sustentable, el medio ambiente y el cambio climático, incluyendo la estimación de los costos futuros asociados al cambio climático, y los beneficios derivados de las acciones para enfrentarlo”* y *“Emitir recomendaciones sobre las políticas y acciones de mitigación o adaptación al cambio climático, así como sobre las evaluaciones que en la materia realizan las dependencias de la administración pública federal centralizada y paraestatal, de las entidades federativas y de los municipios”*, estos dos puntos enfatizan la necesidad de la intervención gubernamental en el monitoreo y financiamiento para las aquellas actividades que sean fuentes emisoras de gases GEI y describe la congruencia que debe de existir al momento de expandir una política ambiental sobre la problemática que se presente; en este caso las emisiones GEI en el sector cañero.

- Del Título Cuarto: “Política Nacional de Cambio Climático”

Dentro del artículo 26 se habla sobre la formulación de la política nacional de cambio climático, donde se encuentran 12 principios que se deben de cumplir, entre ellos la *“Precaución, cuando haya amenaza de daño grave o irreversible, la falta de total certidumbre científica no deberá utilizarse como razón para posponer las medidas de mitigación y adaptación para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático”* en éste punto de precaución, no se señala a qué receptor refiere como susceptible al daño grave o irreversible, y siendo de su principio de lograr un ambiente sano, se puede generalizar que puede ser tanto la especie humana como el ambiente en sí, el receptor de tal daño. Por lo tanto, la política debe de cumplir el principio de precaución en el ambiente inclusive si no existe total certidumbre científica.

Entre otros principios mencionados que se deben de cumplir, están:

“Prevención, considerando que está es el medio más eficaz para evitar los daños al medio ambiente y preservar el equilibrio ecológico ante los efectos del cambio climático”;

“El uso de instrumentos económicos en la mitigación, adaptación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático incentiva la protección, preservación y restauración del ambiente; el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, además de generar beneficios económicos a quienes los implementen”;

“Adopción de patrones de producción y consumo por parte de los sectores público, social y privado para transitar hacia una economía de bajas emisiones en carbono” y sobre todo;

“Responsabilidad ambiental, quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente, está obligado a prevenir, minimizar, mitigar, reparar, restaurar y, en última instancia, a la compensación de los daños que cause”

La Ley General de Cambio Climático considera que los puntos una política cumpla con las atribuciones a la adopción al cambio climático, se debe de sustentar los instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación teniendo como objetivo 6 puntos:

“Reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático”

“Fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos”

“Minimizar riesgos y daños, considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático”

“Identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación y transformación de los sistemas ecológicos, físicos y sociales y aprovechar oportunidades generadas por nuevas condiciones climáticas”

“Facilitar y fomentar la seguridad alimentaria, la productividad agrícola, ganadera, pesquera, acuícola, la preservación de los ecosistemas y de los recursos naturales.”

Después de que se formule una propuesta de política ambiental, enfocándose a una problemática a la que se debe de adaptar, la ley expone la segunda variable importante que debe de adjuntarse la política: la mitigación. El tercer capítulo expone el procedimiento de aplicación de los instrumentos de evaluación, éstos se dividen en dos etapas: la primera trata sobre el planteamiento de la zona o del sector de actividad de las emisiones, así como del planteamiento de objetivos, consecuencias, medición, reporte, verificación, estudio de consecuencias tanto económicas como sociales y la determinación de Escenarios de Líneas Bases⁷ para el caso de estudio; la segunda etapa trata de los recursos financieros disponibles y un análisis de costo-beneficio.

Otros artículos que se ajustan a los objetivos de ésta investigación en materia a la planificación de un futuro de adaptación al cambio climático bajo en emisiones GEI son el artículo 33, puntos 8, 10, entre otros: *“Reducir la quema y venteo de gas para disminuir las pérdidas en los procesos de extracción y en los sistemas de distribución y garantizar al máximo el aprovechamiento del gas en instalaciones*

⁷ La Ley General de Cambio Climático, define Escenario de Línea Base como *“Descripción hipotética de lo que podría ocurrir con las variables que determinan las emisiones, absorciones o capturas de gases y compuestos de efecto invernadero”*.

industriales, petroleras, gaseras y de refinación”, “Promover la cogeneración eficiente para evitar emisiones a la atmósfera” –cogeneración en general-.

Artículo 81, que trata del financiamiento y el valor de las reducciones de emisiones: según el valor monetario de reducciones certificadas por el mercado de las organizaciones internacionales.

Artículo 82, los fondos serán utilizados de manera a su nivel de gravedad o de urgencia, como segunda instancia se tiene *“Proyectos que contribuyan simultáneamente a la mitigación y adaptación al cambio climático, incrementando el capital natural, con acciones orientadas, entre otras, a revertir la deforestación y degradación; conservar y restaurar suelos para mejorar la captura de carbono; implementar prácticas agropecuarias sustentables; (...) conservar la vegetación riparia y para aprovechar sustentablemente la biodiversidad;”*.

El Registro de los proyectos deberá cumplir con las disposiciones reglamentarias que son principalmente en asegurar que las emisiones que se manejan en el proyecto, son emisiones GEI registradas y acordadas por los tratados internacionales, se deberá de presentar el reporte de umbrales de las emisiones manejadas en el proyecto, así como la descripción detallada de la metodología empleada.

La Ley estipula en el artículo 60 que para poder realizar la aprobación de la política ambiental, será necesario el apoyo y coordinación de las demás Secretarías y Comisiones encargadas de cumplir con las atribuciones del INECC y de los objetivos de esta Ley.

El único artículo de esta Ley que trata sobre la quema de cañaverales, es el artículo 34, en su sección 3, inciso f): *“Fortalecer el combate de incendios forestales y promover e incentivar la reducción gradual de la quema de caña de azúcar y de prácticas de roza, tumba y quema”*, pero hay que aclarar que más allá de este inciso, no se hace alguna otra mención a la caña o a las repercusiones de la práctica de quema de caña de azúcar.

3.3.2 Sobre los reglamentos de acuerdo a las leyes sobre Cambio Climático y mitigación de gases GEI en México

***Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia del registro nacional de emisiones**

Las actividades permitidas dentro del Registro, acorde a la Ley General de Cambio Climático, serán todas aquellas que pertenezcan a “(...) *los sectores transporte, agropecuario, residuos y de comercio y servicios a que se refieren en las fracciones II, IV, V y VI*” y que tendrán que calcular y reportar sus “*Emisiones considerando todas las instalaciones, sucursales, locales, lugares donde se almacenen mercancías y en general cualquier local, instalación o sitio que utilicen para el desempeño de sus actividades*” –en el artículo 7, especifican también la quema de residuos agrícolas-. Los trabajos que anteceden esta investigación, apuntan que, por lo menos, para el caso de estudio las emisiones de gases GEI por quema de caña de azúcar no son calculadas ni reportadas más allá del trabajo de inventario de emisiones por la UASLP (Algara-Siller, et al, 2013).

Las emisiones consideradas por encima del umbral y que por lo tanto, son de caso emergente, serán aquellas que por resultado de la suma total anual sean igual o estén por encima de las 25,000 toneladas de Bióxido de Carbono Equivalente, principalmente aquellas emisiones provenientes de “*Fuentes Fijas y Móviles identificadas por dichos Establecimientos Sujetos a Reporte*” (sectores mencionados).

Para poder cumplir con todos los establecimientos requeridos para el Registro, el artículo 9 enlista las obligaciones, como un esbozo consisten en: identificar la fuente de emisiones, medir, calcular o estimar las emisiones, utilizar metodología sólo a las actividades conformes al artículo 7 del mismo Reglamento, hacer un reporte anual y conservar por un periodo de 5 años “*a partir de la fecha en que la Secretaría haya recibido la Cédula de Operación Anual correspondiente (...) sobre sus Emisiones Directas o Indirectas...*”. Dentro del mismo Reglamento, especifica los componentes del Reporte como objetivos del proyecto o descripción de

actividades, herramientas y metodologías a utilizar para la medición de las emisiones.

***Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera.**

La Secretaría General realiza la última reforma de este reglamento el 31 de octubre del 2014 y estipula que le compete la expedición de las normas técnicas ecológicas necesarias para el cumplimiento de los objetivos correspondientes a los términos de la LGEEPA y de ser necesario, la determinación y coordinación de las demás Secretarías para la aplicación de métodos y procedimientos que tengan por objetivo la reducción de las emisiones contaminantes, pero el artículo 7 sólo se especifica para las fuentes móviles. Del mismo artículo, hace mención de *“Promover en coordinación con las autoridades competentes, la instalación de industrial que utilicen tecnologías que generen menos contaminación a la atmósfera, en zonas que se hubiesen determinado aptas para uso industrial, próximas a áreas habitacionales”* como otra de sus atribuciones, el cual, para el caso de estudio, se está cumpliendo con el uso del bagazo como energía eléctrica en el área de ingeniería.

Entre otras atribuciones a este Reglamento, se describe en el artículo 13, sección II: *“Las emisiones de contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas o controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico”* y el artículo 14 señala *“La Secretaría, previos los estudios correspondientes, promoverá ante las autoridades competentes la reubicación de las fuentes fijas, cuando las condiciones topográficas y meteorológicas del sitio en el que se ubican, dificulten la adecuada dispersión de contaminantes a la atmósfera, cuando la calidad del aire así lo requiera, o cuando las características de los contaminantes constituyan un riesgo inminente de desequilibrio ecológico”*. Consecuentemente en el artículo 17 se explican las obligaciones de los responsables de las emisiones principalmente: la implementación y sistemas que

controlen las emisiones a la atmósfera, realizar un inventario de emisiones, realizar muestreos continuos, medir las emisiones cada que la Secretaría lo determine, entre otras obligaciones.

Artículo 19: considera la liberación de emisiones GEI en el subsector de *“Transformación de materias primas o combustibles al área de proceso”* siempre y cuando se presente un permiso/licencia expedida por la Secretaría. El permiso de liberación continúa con el artículo 23 donde menciona que las emisiones tendrán que ser canalizadas por medio de chimeneas y que en aquellos casos donde no sea posible este proceso, se deberá presentar un estudio justificativo a la Secretaría para que se determine lo conducente.

En el artículo 27, el permiso de combustión a cielo abierto tiende a un carácter de un límite nítido en cuanto a sanciones: *“Sólo se permitirá la combustión a cielo abierto en zonas de jurisdicción federal, cuando se efectúe con permiso de la Secretaría para adiestrar y capacitar al personal encargado del combate de incendios.”*

Para obtener el permiso a que se refiere el párrafo anterior, el interesado deberá presentar a la Secretaría solicitud por escrito, cuando menos con 10 días hábiles de anterioridad a la fecha en que se tenga programado el evento, con la siguiente información y documentación:

I.- Croquis de localización del predio, indicando el lugar preciso en el que se efectuarán las combustiones, así como las construcciones y colindancias más próximas y las condiciones de seguridad que imperan en el lugar;

II.- Programa calendarizado, en el que se precise la fecha y horarios en los que tendrán lugar las combustiones; y

III.- Tipos y cantidades de combustible que se incinerará.

La Secretaría podrá suspender de manera temporal o definitiva el permiso a que se refiere este artículo, cuando se presente alguna contingencia ambiental en la zona.”

Después de este artículo, el permiso de la quema de cañaveral queda inmune a los Reglamentos que supone debería atender los casos de emisión cuando éstos superen el umbral permitido por los tratados internacionales.

3.3.3 Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) relacionadas con el Cambio Climático y mitigación de gases GEI en México.

***NOM-041-SEMARNAT-2014**

Dentro de la producción del cultivo de caña de azúcar, es importante considerar las normas para vagones y camiones de transporte así como cosechadoras y otras maquinarias catalogadas por el sector transporte, ya que debe de estar condicionada con la Estrategia 4.4.3 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 que expone: *“Fortalecer la política de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono, por lo que se hace necesario el ajuste constante o la actualización de los límites máximos permisibles de emisiones de gases provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible”*.

Dicho lo anterior, la maquinaria -como las cosechadoras- en cuanto al tiempo de encendido, cantidad de combustible, kilómetros recorridos, emisiones de CO₂, debe de ser monitoreado y considerado como uno de los más importantes factores a la hora de cuantificar los gastos de producción, ya que los cañeros son quienes pagar el combustible requerido, además de que mucho de las máquinas de carga atraviesan la concentración urbana de la zona cañaveral y liberan emisiones GEI que puede dañar la salud de los habitantes aledaños.

***NOM-025-SSA1-1993, Modificado lunes 26 de septiembre de 2005**

La NOM-025-SSA1-1993 se integra a la categoría de salud ambiental exponiendo los criterios para la evaluación de la calidad del aire ambiente;

“(...) con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales pst, partículas menores

de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población, para quedar como norma oficial mexicana NOM-025-SSA1-1993, salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales pst, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.”

La NOM-025 se conforma principalmente de los métodos de análisis de partículas suspendidas en el momento de la emisión liberada a la atmósfera, sin embargo, no engloba la calidad del aire por concentraciones de gases que ya se encuentran en el ambiente. Otro punto débil, es que el principal monitoreo se enfoca en zonas urbanas más no rurales, ya sea por la dificultad de instalación en zonas arraigadas o por englobar los demás conglomerados alrededor de las zonas urbanas.

Además, la esta NOM se enfoca en los problemas a la salud en la población expuesta y sólo en los casos en los que ya se presenta algún síntoma de vulnerabilidad a la dosis de PM, pero dentro de la teoría de la evaluación de impacto y riesgo ecológico, las dosis que son menores pero que resultan constantes durante un largo periodo son más peligrosas por que los síntomas no se presentan inmediatamente, si no que van afectando de manera paulatina al receptor. Por lo tanto, a falta de un monitoreo de las concentraciones de gases GEI que no están consideradas en esta norma, pudiesen estar afectando paulatinamente a la población humana u otra población biológica que a largo plazo empezará a demostrar síntomas.

Otra debilidad que presenta la norma, es la falta de monitoreo de los gases compuestos, sea el caso más grave: las dioxinas. Por último, la norma es aplicable sólo a áreas urbanas y a fuentes puntuales, pero hace falta una norma de regulación para un área de contaminación –no fuente puntual- para el caso de actividades agrícolas.

***NOM-020-SSA1-1993**

La NOM-020 se centra en los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono, valor para su concentración, es decir, en como determinar los contaminantes atmosféricos y los valores de concentración máxima para el ser humano. Esta norma sólo es aplicable para los niveles de concentración de ozono (O₃) percibidos en niveles de la estratósfera y troposfera que pueden ser dañinos para el sistema respiratorio de las personas, pero no incluye concentraciones de gases como óxido nitroso o dióxido de carbono.

Esta norma no considera las normas internacionales y por lo tanto, tampoco considera acuerdos internacionales de niveles umbrales de niveles de concentración para el ozono o de otros gases.

***NOM-015-SEMARNAT-SAGARPA-2007**

En materia sobre incendios controlados en terrenos forestales y terrenos de uso agropecuario existe la NOM-015 a causa de la frecuencia de incendios forestales percibidos durante el periodo de 1998 a 2005, principalmente por actividades agropecuarias, intencionales, fogatas, fumadores y otras causas (rayos, líneas eléctricas, basureros, etc.).

Siendo la norma la más acorde para los intereses de esta investigación, primero se debe de considerar los conceptos manejados dentro de la norma, tal el caso para “Ecosistema adaptado al fuego”, “Ecosistema independiente del fuego”, “Ecosistema sensible al fuego”, “Quema controlada” y “Quema prescrita”.

La norma define:

- *Ecosistema adaptado al fuego: Es aquel en el que el fuego cumple un papel ecológico en las funciones y procesos del ecosistema, como mantener el mismo tipo de vegetación en el tiempo y en el espacio, el aumento en la riqueza de especies del sotobosque, la apertura de claros que favorecen la regeneración o la heterogeneidad, la creación de hábitat y nichos importantes para la vida silvestre, cuando ocurre a baja o moderada intensidad y con una cierta periodicidad o frecuencia, ejemplo de estos ecosistemas son: Zacatales, pastizales, pinares, algunos encinares, algunos matorrales, sabanas, palmares, popales, tulares.*

- *Ecosistema independiente del fuego: Es aquel en el que el fuego no es un factor requerido por el ecosistema para el mantenimiento de su estructura, funciones y procesos. Debido a la falta de vegetación o de fuentes de ignición o a las condiciones meteorológicas que impiden la presencia de fuego. Ejemplo de estos ecosistemas son: desiertos, tundra y bosques lluviosos sin estación definida.*
- *Ecosistema sensible al fuego: En estos ecosistemas el fuego no cumple un papel ecológico y la mayor parte de las plantas y animales carecen de adaptaciones para responder de manera positiva a su presencia; el ecosistema sensible es afectado por incendios superficiales, de copa o subterráneos, que impactan severamente sus funciones, procesos ecológicos y los servicios ambientales que proveen. La recuperación de estos ecosistemas dañados por el fuego requiere de largos periodos de tiempo que pueden ir de décadas hasta siglos. Ejemplo de estos ecosistemas son: selvas altas, medianas y bajas, bosques mesófilos de montaña, manglares, bosques de oyamel, algunos bosques de encino.*
- *Quema controlada: Aplicación del fuego en áreas forestales o agropecuarias mediante la utilización empírica de las características del combustible, de la topografía y de las condiciones meteorológicas, traducidas en estimación práctica del comportamiento del fuego. Se ejecuta con la utilización de equipo y herramientas para conducir y regular su magnitud. Por lo regular se realiza con experiencia práctica.*
- *Quema prescrita: Aplicación controlada del fuego a combustibles forestales en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego en una área predeterminada, y al mismo tiempo, producir una intensidad calórica y velocidad de propagación requeridas para cumplir objetivos planeados de manejo de recursos naturales, que se realiza de acuerdo a los procedimientos legales y técnicos establecidos en la presente Norma, que se efectúan en terrenos forestales, preferentemente forestales y temporalmente forestales.*

Según la norma, en el caso de los cañaverales siendo parte de la familia de zacatales, se clasifica como “Ecosistema adaptado al fuego” al que se le practica una “Quema controlada” con motivo de “Facilitar labores de cosecha (caña de azúcar)” y para “Control de maleza o malas hierbas”, sin embargo, no hay un

manejo puntual de la definición y clasificación de “ecosistema”, ya que no considera los factores de escala ni de jerarquía, sobre todo siendo México un mega-país diverso según Jardel-Peláez (2011) que además agrega: *“no es adecuado hablar de “adaptación de los ecosistemas” en un sentido análogo al de adaptación de especies u organismos. El término “ecosistemas mantenidos por el fuego” sería más apropiado en el sentido de considerar que el régimen de incendios da lugar o mantiene ciertas condiciones particulares de composición de especies, estructura de la vegetación y funcionamiento del ecosistema”*. El papel ambivalente que menciona la norma consiste en que el fuego tiene “dos caras” en el que a veces tiene efectos benéficos para los ecosistemas y en otros provoca un efecto negativo, englobando a la sociedad.

Para iniciar una quema controlada, la norma solo cuenta con dos especificaciones desglosadas en el apartado “Especificaciones para el uso del fuego en terreno agropecuario” el cual generaliza los cultivos sin ningún tipo de especificidad, por lo tanto, no hay regulación particular para la quema controlada en el caso de la caña de azúcar. Además dentro del discurso que manejan dentro de la norma, el uso del fuego en terrenos tanto agrícolas como ganaderos, reduce los costos de preparación del suelo, pero no tiene un sustento suficiente –sólo técnico- para realizar incendios y menciona que *“(…) frecuentemente resulta más perjudicial que benéfica, sobre todo porque contribuye, entre otras cosas, a la degradación del suelo, sin embargo es una tradición arraigada entre la población rural del país.”*, por lo tanto, una de las justificaciones de mayor peso que maneja la norma, es que el fuego es parte de una cultura agrícola nacional que debe de permanecer, a pesar de los acuerdos internacionales y la preocupación actual en cuando al cambio climático.

Dentro de las recomendaciones preliminares para los usuarios acreditados en los métodos de quema controlada y quema prescrita se menciona como punto 1.2 buscar alternativas al uso de fuego y especifica la cosecha de caña de azúcar mencionando *“se puede realizar en verde (sin quemar) utilizando cosechadoras mecánicas.”* Sin embargo, después de ese único punto, realiza una serie de

desglosados en los que mencionan los beneficios de practicar quema en cultivos como en control de plagas, limpieza de alimañas y facilidad para el acceso a cortadores a parcelas. A continuación describen los requisitos para quema prescrita:

- *Horarios para realizar la quema.- Las quemas se deben realizar preferentemente por las mañanas, como máximo hasta las 11:00 horas; con vientos menores a 10 Km. por hora y humedades relativas mayores de 40%.*
- *La duración de la quema.- El usuario del fuego, deberá tener siempre presente que la duración de la quema, no debe hacerse durante las horas cuando los factores del tiempo atmosférico son extremos durante el día, lo cual ocurre normalmente entre las 12:00 a las 17:00 horas. Lo anterior, para que no se pierda el control de la quema por la emisión de focos secundarios o por un escape en zonas críticas, donde las brechas cortafuego son débiles y no lograron mantener confinado el fuego.*
- *Manejar la dirección de dispersión del humo.- En las quemas en donde los terrenos estén a menos de 10 kilómetros de poblaciones y de infraestructura sensible, y con el fin de evitar daños a las personas en las poblaciones cercanas, el usuario deberá esperar a que la dirección del viento vaya en sentido contrario en donde están dichas poblaciones para evitar que el humo de la quema les afecte.*
- *La quema prescrita, es un trabajo altamente técnico que requiere conocimiento del comportamiento del fuego, de técnicas de combate, y de los efectos que produce el fuego (ambientales, sociales y económicos).*
- *En los días posteriores a la quema prescrita, se deberá registrar la altura de chamuscado, cantidades o por ciento del consumo de arbustos y matorrales, humus y materia orgánica sobre el suelo, así como cualquier evidencia sobre la intensidad del fuego, tales como áreas sin quemar, exposición del suelo mineral, y rasgaduras o rupturas de corteza y consumo de la misma, así como una breve narrativa sobre el éxito o fracaso de la quema prescrita.*

Tabla 3. Número de personas para iniciar fuego, según extensión de hectáreas. Fuente: NOM-015-SEMARNAT-SAGARPA-2007

| Extensión del Terreno (ha) | Número de Personas (mínimo) |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Menor de 5 | 5 |
| De 6-20 | 10 |
| De 21-50 | 25 |
| De 51-100 | 30 |
| Más de 100 | 50 |

Según la norma, para que una quema prescrita pueda llevarse a cabo, es necesario una serie de requisitos previos basados en monitoreo y estudio de la zona donde se realizará el incendio, entre los requisitos se tiene:

- Porcentaje de chamuscado: identifica el cambio de color en el follaje principalmente en zonas forestales. Este porcentaje estará en función del periodo época del año en que se lleve a cabo la quema.
- Agrietado de corteza: se aplicará sólo para los casos de incendios en zonas forestales.
- Daños al suelo y a las raíces: estipula que no debe de exponer el suelo en su totalidad, de tal manera que no haya un desgaste de minerales; si existen restos de humus después de la quema es indicio de que no hubo un desgaste mineral, pero en casos donde el suelo tiene inclinación, es recomendable no realizar quema ya que el suelo es más propenso al desgaste.
- Daños a la raíz: este análisis es principalmente para suelos delgados, donde la capa de humus es nula o escasa, en suelos secos o aquellos propensos a sequía.

- Calidad del aire: se debe de monitorear el comportamiento del humo, es decir, su dirección y dispersión, sobre todo si existe población aledaña que esté expuesta y más si se generan quejas de parte de ellos.

En la norma continúan con una serie de descripciones que debe de tener el incendio de tal manera que no se propague a una quema no deseada; llamaradas no muy altas, realizar la quema durante horas no muy calientes del día, preferentemente por las mañanas pero que el clima no esté por debajo de los 25 °C, no debe de prenderse fuego en bajo una humedad relativa menor a 40% y es preferible que la velocidad del viento varíe entre los 5 y 15 km/hr. La técnica usada puede ser la quema en círculo o la quema por manchones. Por último señalan nunca realizar quemas en época de sequía, realizar quema en suelo orgánico, o cuando existan inversiones térmicas, sobre todo, tener siempre bajo control los combustibles, así como los envases de combustibles, entre algunas otras sugerencias.

Dicho lo anterior, la norma realmente no es una herramienta de sanción, sino de guía para realizar quemas “adecuadas”. Hay que preguntarse si realmente la regulación de la norma se lleva a cabo, si realmente los incendios clandestinos ya no se llevan a cabo: la respuesta es no, según Jardel-Peláez (2011), una de las principales limitantes de la norma, es que mencionan acreditar un personal para realizar las quemas prescritas, pero a la fecha no existe una certificación oficial, lo que da espacio a que cualquier persona pueda iniciar una quema, no existe un monitoreo del efecto ambiental que resulta del uso de combustibles para la creación del fuego, ni mucho menos de los efectos de la quema, esto es, su emisión y concentración en la homósfera.

En el caso de la caña de azúcar, Jardel-Peláez asegura que las quemas no siguen la norma; en la entrega de formatos de quemas prescritos, que no se cumple con el horario permitido de la quema y sin personal certificado y agrega “*En general, quienes queman asumen el riesgo de una sanción, pero como esta generalmente no se aplica o sí se aplica es de manera diferencial (violando el principio de igualdad ante la ley), los caminos de la clandestinidad (quemar a escondidas) y de*

la impunidad (¿para qué preocuparse de respetar la normatividad si no se aplica?) quedan abiertos. De esta manera la NOM-015 sigue el mismo destino que otros instrumentos legales o normativos.”. De acuerdo a los antecedentes de esta investigación, no existen muchos trabajos con respecto al marco legislativo que rige en la actividad de quema de cañaverales, por lo que no se puede asegurar para los casos de estudio si los cañaverales y el personal del ingenio cumple con todos los papeles y capacitación requerida para la realización de la quema durante el periodo de zafra. Lo único observado en ambas ciudades donde se realizaron las entrevistas, es que no existía una fuerte disciplina por cumplir con un horario estricto para la realización de la quema, es decir, que las quemas se llevaban a cabo durante 24 horas –un cañaveral a la vez- sin respetar las horas más calientes del día.

3.4 Top Down: la legislación sobre el Desarrollo Rural Sustentable

3.4.1 Los estatutos de las leyes en materia de la producción de caña de azúcar en México.

La intervención del gobierno tiene como objetivo aplicar un marco jurídico e institucional para el desarrollo de la agroindustria azucarera:

“El artículo 25 Constitucional dispone que la ley establecerá mecanismos que faciliten todas las formas de organización social para la producción, distribución y consumo de bienes y servicios socialmente necesarios, en este contexto, el 22 de agosto de 2005, se promulgó la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, cuyas disposiciones son de interés público y de orden social por su carácter básico y estratégico para la economía nacional.” (SE, 2012).

Esta Ley estipula que la caña de azúcar es un producto básico y estratégico, y que las actividades de siembra, cultivo, cosecha e industrialización son consideradas de interés público. Mediante el establecimiento de la Comisión Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), se pretende

normar las actividades agrícolas hacia un desarrollo e integración sustentable de la caña y de sus productos, subproductos, coproductos y otros derivados. La CONADESUCA se encargará de la coordinación y ejecución de todas las normas y de los estatutos para su cumplimiento; estará integrada por Organismos públicos y privados que atenderán y darán seguimiento a los temas más relevantes del sector. Este órgano deberá estar en coordinación con las secretarías federales, como:

- La SAGARPA (responsable de dictar y coordinar las políticas públicas orientadas a promover la rentabilidad, productividad y competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar): establece programas para el fomento y el desarrollo de la agroindustria de la caña de azúcar e impulsa esquemas que propicien la inversión en el campo cañero y en la industria azucarera.
- La Secretaría de Economía (responsable de promover, orientar, fomentar y estimular la industria nacional): Asimismo es responsable de formular y conducir las políticas que permitan asegurar el abasto de los productos básicos en el país. Tiene la facultad de establecer medidas de regulación no arancelaria como los cupos de importación, en casos que se consideren necesarios.
- Otros apoyos por parte del gobierno federal son los TQR's (Cuotas de importación): siempre que el Secretario de Agricultura considere que la oferta de azúcar es insuficiente para cubrir la demanda nacional, se podrá modificar los límites preestablecidos aunque no las cantidades mínimas acordadas y la Ley Agrícola, 2008: provee herramientas y recursos al USDA para realizar préstamos a los procesadores de caña y remolacha (ingenios) (SE, 2012).

La misma Ley ha empezado a tratar los problemas sectoriales de sustentabilidad ambiental, como se expone a continuación;

Titulo Segundo: De las autoridades y de los órganos en materia de la agroindustria de la caña de azúcar.

Del capítulo I, Art. 7;

- I. Dictar las políticas públicas necesarias (...) que la hagan sustentable*

- XI. Participar e instrumentar (...) las acciones de preservación del medio ambiente y protección de la biodiversidad en el campo cañero.*

Del capítulo IV, Art. 17;

- I. Formular para su respectiva Zona de Abastecimiento los programas de operación de campo relativos a la siembra de caña de azúcar; actividades agrícolas; mecanización del campo cañero; albergues para cortadores...*

- XII. Coadyuvar en su ámbito de acciones con las medidas necesarias que le den viabilidad a las actividades que contribuyan al desarrollo sustentable de la caña de azúcar.*

Titulo Quinto: De la investigación, la diversificación y la Sustentabilidad.

Del capítulo III;

Art. 112.- El Comité Nacional promoverá sistemas de agricultura cañera sustentables basados en la conservación del medio ambiente y el eficiente aprovechamiento de los recursos disponibles, involucrando la calidad de vida de los productores y de la sociedad en general.

Art. 113.- El Comité Nacional evaluará, promoverá y apoyará la instrumentación de programas que reduzcan la fuente contaminante de la industria, tanto al aire como al suelo y al agua...

Art. 114.- Se promoverá y apoyará la adopción de prácticas de manejo sustentable del suelo...

En la Ley se menciona la existencia de los gases GEI producidos por la quema de caña, pero no se proponen estrategias para el impulso de la cosecha en verde como sustituto. Las medidas de mitigación de gases son mencionadas cuando los ingenios son la fuente emisora, mas no indica nada respecto a la actividad realizada en el campo.

No existe artículo que trate la situación de inversión en el sector; tampoco se habla de apoyos ni de programas internacionales (como el mercado de bonos de carbono) que podrían intervenir en las medidas de producción. Falta también un artículo que tome en cuenta a la quema de caña como una causa de emisiones GEI.

En base a la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, se desarrolla el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, que entra en vigor durante la administración de Enrique Peña Nieto y el cual sigue vigente.

***Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2014-2018.**

Por parte de la Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC) (2014) hacen mención de los retos ambientales:

“Por otra parte, la agroindustria de la caña de azúcar contribuye a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en campo debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, el consumo de energía eléctrica para bombeo del agua de riego, la quema de caña para cosecha y en fábrica por la emisión de contaminantes a la atmósfera; por lo que acciones de mitigación del cambio climático por parte de esta agroindustria son implementar el uso de los biofertilizantes, realizar un uso eficiente del agua de riego, incrementar la cosecha en verde y reducir las emisiones en fábrica.”

En el sector cañero existe una gran oportunidad para la mitigación de emisiones GEI por medio de la diversificación de la caña, certificación y métodos de producción sustentable (cosecha en verde).

Existe una gran dependencia laboral del sector agroindustrial azucarero en México, ya que cerca de dos millones de mexicanos están involucrados empleados tanto de manera agrícola como manufacturera. Además el azúcar es considerado como alimento básico en la dieta mexicana por su alto contenido

energético y su robusto aporte histórico que ha tenido en el país, por lo tanto, representa un gran impacto social, económico y cultural.

Dentro de los Retos que se han considerado por parte de la federación son:

1. (I) *“Contar con una agroindustria de la caña de azúcar más rentable y sustentable, que garantice una oferta de azúcar de calidad que abastece plenamente el consumo nacional, que tenga capacidad competitiva en el mercado global, exportar excedentes al mercado regional de Norteamérica y que sea parte del desarrollo de la agroindustria de bioenergéticos de acuerdo a la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos”, en el que incluye el desarrollo de la industria de bioenergéticos.*
2. (IV) Dentro de *“Mejorar la rentabilidad, fomento a la inversión y el empleo, certeza a la actividad productiva, acceso al financiamiento y diversificación de la oferta mediante”* se encuentra el generar valor agregado en toda la cadena productiva de la caña para mejorar los ingresos de los productores. En este caso, generar productos derivados con valor agregado y que se fomenten como productos orgánicos, pudiera traer mayor rentabilidad al sector para pequeños y afiliados productores.

En el Plan de Desarrollo de la federación se menciona: meta 4, apartado 4.4.1 se menciona que se debe *“Implementar una política integral de desarrollo que vincule la sustentabilidad ambiental con costos y beneficios a la sociedad”*. Este mismo se desglosa del objetivo 4.4: *“Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo”*.

Otros puntos a rescatar 4.8.1: *“Reactivar una política de fomento económico enfocada en incrementar la productividad de los sectores dinámicos y tradicionales de la economía mexicana de manera regional y sectorialmente equilibrada”*; 4.4.3: *“Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar a una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono”* en los que se incluyen los objetivos 4 y 5: *“Mejorar la sustentabilidad de la agroindustria de la caña de azúcar; El incremento en la rentabilidad y*

productividad en campo y fábrica no debe tener un efecto negativo sobre el medio ambiente, por el contrario, debe ser compatible con la incorporación de prácticas sustentables de producción, y acompañadas de innovación científica, tecnológica y organizativa.” y “Fomentar la investigación, desarrollo, innovación y transferencia de tecnología en el sector; es importante realizar trabajos de innovación y de transferencia de tecnología en el sector que permitan poner al alcance de los productores de caña de azúcar y de los Ingenios los avances científicos y tecnológicos que apoyen el incremento en la productividad y la reducción en los costos que incrementen la competitividad.”.

En el mismo documento, se presentan estrategias y líneas de acción para cumplir con los objetivos arriba mencionados. A continuación se resumirán sólo aquellos puntos que se consideran de relevancia para la justificación y proseguimiento de esta investigación:

- Estrategia 2.1 Reducir costos de producción: 2.1.1 Analizar los costos de producción de la siembra, cultivo, cosecha y entrega de la caña de azúcar; 2.1.2 Revisar la estructura de los costos de producción y comercialización de azúcar y su impacto en el precio final.
- Estrategia 3.1 Incentivar acciones que incrementen la productividad del campo cañero: 3.1.7. Incrementar la frescura de caña de azúcar a fin de obtener mayor sacarosa por tonelada de caña de molida.
- Estrategia 3.2 Adoptar buenas prácticas agrícolas y de manufactura para incrementar la productividad: 3.2.1 Promover buenas prácticas de cosecha en el corte y alce de la caña.
- Estrategia 4.1 Fomentar prácticas y tecnologías sustentables en los procesos productivos; 4.1.1 Identificar, analizar y fomentar la adopción de prácticas agrícolas e industriales sustentables; 4.1.5 Incrementar la superficie cosechada en verde, que permita mejorar la calidad de la caña y reducir emisiones de GEI; 4.1.10 Promover la certificación sustentable en los procesos productivos de la agroindustria.

Dentro del objetivo 5, se desarrolla el Programa Especial para Democratizar la Productividad, en la que se manejan otras estrategias y líneas de acción. Para el caso de estudio se rescata la estrategia 1.4 Promover el manejo eficiente y sustentable del capital natural y reforzar el cuidado del medio ambiente del país, estrategia 1.4.2 “(...) *El presente Programa considera la Estrategia 2.2 orientada a buscar desarrollar la diversificación productiva de la agroindustria de la caña de azúcar, con énfasis en la cogeneración de energía eléctrica y la producción sustentable de etanol anhidro, acciones que contribuyen a construir una economía competitiva, sustentable, con mayor resiliencia y baja en carbono.*” (PRONAC, 2014).

Algunos de los indicadores manejados para ver avances cualitativos de las líneas de acción mencionadas, se encuentra el indicador de “Porcentaje de superficie cosechada en verde, respecto a la superficie total cosechada”. Se realiza anualmente y consisten en el cálculo $((\text{cantidad nacional de caña total cosechada en verde} / \text{cantidad nacional de hectáreas cosechadas}) * 100) = \text{porcentaje de caña cosechada en verde}$. La meta estimada para el 2018 es que cada año aumente 1 punto porcentual de cosecha en verde, alcanzando un 15.9%, con respecto al año base 2012 en el que sólo se registró un 9.9%.

Otro indicador es el de Proyectos destinados a la investigación, desarrollo y transferencia de tecnología en el sector y refiere a la suma de todos los proyectos con participación pública desde el año 2013 que se lleven a cabo en conjunto con SAGARPA/CONACYT. La meta es el incremento del número de proyectos para el 2018, ya que con respecto al 2014 el número de proyectos registrados era cero (PRONAC, 2014).

***Ley de Desarrollo Rural Sustentable**

Con la Ley de Desarrollo Rural del 2000 aprobada por Vicente Fox como antecedente, en 2001, es aprobada la Ley de Desarrollo Rural Sustentable por la cámara de diputados orientada a las actividades económicas en el medio rural bajo un enfoque de “integralidad” diferente al de “integridad”. Según Torres (2008),

el documento *“es un esquema de planeación federalista y democrático (...) en donde se incorpora un enfoque territorial. (...) No obstante (...) su sesgo neoliberal es claro”*.

La Ley es el documento más avanzado en el país en materia del desarrollo rural pero que aún no desarrolla una claridad de la metodología y nivel de compromiso en el cumplimiento de sus prioridades y objetivos, dejando la retórica y concepción de la sustentabilidad débil.

Dentro de los establecimientos de la Ley, el mejorar la competitividad y la productividad resalta a lo largo del contenido, sin embargo, existe una carencia de interés en el conocimiento de las necesidades de los sectores y subsectores. Adhiriendo a lo anterior, la asignación de recursos naturales es mencionado con mayor intención que al cuidado y protección del ambiente –al momento de mencionarse, el agua y la tierra son prioridad por encima del cuidado de la calidad del aire-, al igual que un financiamiento y administración de riesgos son casi nulos.

A continuación, se exponen los artículos que están relacionados o que son aplicables con el desarrollo sustentable de la producción de caña de azúcar:

Titulo tercero “Del fomento agropecuario y de desarrollo rural sustentable”, Capítulo I “Del fomento a las actividades económicas de desarrollo rural sustentable”, artículo 32, sección VII.- “El fomento de la eficiencia de los procesos de extracción o cosecha, acondicionamiento con grados de calidad del producto, empaque, acopio y comercialización”, VIII “El fortalecimiento de los servicios de apoyo a la producción (...) [y en] el transporte...”.

Capítulo XI “Del sistema Nacional de financiamiento rural”, artículo 118, sección II. “Inversión gubernamental en infraestructura de acopio y almacenamiento, fondos para la pignoración de cosechas y mantenimiento de inventarios”

Sobre todo el capítulo XVI “De la sustentabilidad de la producción rural”

Artículo 164.- *“La sustentabilidad será criterio recto en el fomento a las actividades productivas, a fin de lograr el uso racional de los recursos naturales, su preservación y mejoramiento, al igual que la viabilidad económica de la producción mediante procesos productivos socialmente aceptable.”*

Artículo 167.- *“Los programas de fomento productivo atenderán el objetivo de reducir los riesgos generados por el uso de fuego y la emisión de contaminantes, ofreciendo a los productores alternativas de producción de mayor potencial productivo y rentabilidad económica y ecológica”*

Por último, el capítulo XVII *“De la seguridad y soberanía alimentaria”*, artículo 180 *“El Gobierno Federal, (...) deberá conducir su política agropecuaria a fin de que los programas y acciones para el fomento productivo y el desarrollo rural sustentable, así como los acuerdos y tratados internacionales propicien la inocuidad, seguridad y soberanía alimentaria, mediante la producción y abasto de los productos señalados en el anterior.”* y artículo 183, sección VI y VII *“La elaboración y difusión de guías sobre prácticas sustentables en las diferentes etapas de las cadenas agroalimentarias”* y *“La instrumentación de programas y acciones de protección del medio ambiente para la evaluación de los costos ambientales derivados de las actividades productivas del sector”*.

Las acciones consideradas de la Ley abarca la preservación, restauración, aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la biodiversidad como un capital de producción, más no como un valor inherente de la naturaleza, además se menciona la prevención y mitigación del impacto ambiental pero no menciona el cambio climático como factor de influencia en el impacto, de hecho, a lo largo de la Ley, el cambio climático resulta casi nulo. Por último, las acciones olvidan la conservación y el mejoramiento del capital natural, o mejor dicho, del medio ambiente, y debe quedar implícito ya que no es menos importante que la preservación y la restauración según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Torres, 2008).

***Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí**

En diciembre de 1999, es aprobada la Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí en respuesta de la aprobación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y el cual tiene como objeto precisar y adecuar el Código Ecológico que se regulan por el Diario Oficial de la Federación y en respuesta al artículo 15 del Periódico Oficial del Estado en el que expone que *“Todos los habitantes del Estado tienen derecho a gozar un ambiente sano, por lo que, en la esfera de su competencia, y concurrentemente con los Ayuntamientos, el Gobierno del Estado llevará a cabo programas para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales de la entidad, así como para prevenir y combatir la contaminación ambiental...”*.

A continuación, se expresan aquellos artículos que tienen relación en cuanto a prevención y mitigación a emisiones GEI de manera directa o indirecta:

Artículo uno, sección V “La prevención y el control de la contaminación en los casos no reservados a la federación”, artículo 2, sección V “Las acciones en materia de prevención de la contaminación atmosférica (...) del suelo del territorio Estatal o Municipal”.

Titulo segundo “De la distribución de competencia y coordinación”, capítulo uno, artículo 8, sección IV *“La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que provengan de establecimientos mercantiles o de servicios, así como de las emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes móviles que no sean consideradas de jurisdicción federal, con la participación que corresponda al Gobierno del Estado en los términos previstos en esta Ley, así como para el otorgamiento de permisos para combustiones a cielo abierto, cuyo propósito sea adiestrar y capacitar al personal encargado del combate de incendios”* pero no aplica para actividades agrícolas ni para fuentes contaminantes por área, sólo fuentes fijas.

Sección XIII “Requerir a quienes realicen actividades contaminantes, la instalación de equipos de control de emisiones, salvo para aquellas que sean de jurisdicción federal o estatal”.

Artículo 9 “En el ejercicio de las facultades que en materia agrícola, ganadera, forestal, hidráulica, pesquera, aprovechamiento de elementos naturales y antrópicos, le otorga a la SEDARH y a otras dependencias estatales la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado, se deberán observar los principios, criterios y normas establecidos en otras leyes, sus reglamentos, en la presente Ley y sus disposiciones reglamentarias para el aprovechamiento sustentable de los mismos, la protección, conservación y restauración ambiental, la regulación de las actividades que puedan generar efectos nocivos y la evaluación del impacto ambiental y demás disposiciones legales y reglamentarias pertinentes.”

Artículo 12, sección IV “Quien realice obras o actividades ya sea del sector público o del sector privado que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o remediar los daños que cause, así como a asumir los costos ambientales que dicha afectación implique; asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente y aproveche de manera sustentable y responsable los recursos naturales”.

Se debe de resaltar sobre todo, el Título sexto “De la prevención y control de la contaminación ambiental”, capítulo uno “De la contaminación de la atmósfera”, artículo 71 que hace clasificación de las fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos, incluyendo la clasificación de “Diversas: Cualquiera otra no considerada en las anteriores [fijas y móviles], incluyéndose las emisiones a la atmósfera provocadas por incendios forestales, tolveneras y otros siniestros, las cuales serán objeto de programas de emergencia y contingencias ambientales que establezcan las autoridades federales y estatales en materia de protección civil, en coordinación con la SEGAM” en la cual, nuevamente no incluye actividades agrícolas.

Después se hace una aclaración de cuales son consideradas fuentes emisoras competentes para el Gobierno Estatal:

- a) Aquellas industrias que por exclusión del artículo 111 Bis de la LGEEPA no sean consideradas de jurisdicción federal, así como aquellos subsectores específicos que por exclusión no sean considerados de igual manera en el reglamento federal de la materia, y
- b) Las señaladas en otras disposiciones legales aplicables y que no corresponda su regulación a la competencia federal.

Artículos 73 y 74 especifican las jurisdicciones y criterios para atender las fuentes emisoras y la calidad del aire de las cuales se expone:

“Las emisiones contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, deben de ser reducidas y reducidas para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y del ambiente”.

“(...) [llevar] a cabo acciones de prevención y control de la contaminación del aire en zonas o en fuentes emisoras de su jurisdicción”.

“Emitirán las disposiciones y establecerán las medidas tendientes a evitar la quema de cualquier tipo de residuo sólido o líquido, incluyendo basura doméstica, hojarasca, hierba seca, esquilmos agrícolas, llantas usadas, plásticos, lubricantes usados, solventes y otras; así como las quemas con fines de desmontes o deshierbe de terrenos”.

Es a partir de éste artículo, que se desarrolla el artículo 81, en su tercera sección, expresa la excepción de combustión al que sólo se agrega “excepto aquellas que se encuentren sujetas a la observancia y cumplimiento de la normatividad aplicable”. Con ésta excepción de permitir combustión a nivel suelo a cielo abierto, la práctica de quema de caña se coloca sin ningún problema, inclusive si la generación de combustión se considera un proceso básico dentro de la cadena de producción.

El 23 de Julio del 2011, al artículo 44 se ha adicionado un capítulo III BIS que responde “De las facultades en materia de cambio climático” que tiene como objeto la atención y prevención a los efectos del cambio climático por conducto de la SEGAM en coordinación con los proyectos y programas que se lleven a cabo en el estado con las dependencias estatales y locales.

Expresa que la SEGAM será el responsable del diseño de políticas estatales para la prevención y mitigación de emisiones GEI, adaptación al cambio climático y desarrollo de estrategias estatales en torno al mismo asunto.

Dentro del artículo, se hace mención sobre el desarrollo del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) que a comparación con otros estados como Tabasco y Chihuahua, el de San Luis Potosí aún no está concluido. Entre las características a las que debe de estar sujetas, el artículo estipula

- Congruencia con las políticas nacionales sobre el cambio climático
- Diagnóstico integral sobre las problemáticas del estado y su impacto
- Coordinación entre distintas dependencias que estén encargadas en materia

Así como el diseño, formulación, valoración económica y desarrollo de proyectos y acciones asociados al cambio climático. Hay que resaltar sobre todo la sección VIII que menciona “La promoción, difusión evaluación y, en su caso, aprobación de proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero” al cual se agrega la sección IX: “La planeación de proyectos regionales de reducción de gases de efecto invernadero, en las empresas asentadas en el Estado”.

A lo largo de la Ley se remarca la atención del monitoreo de gases de fuentes fijas y móviles, así como la reducción de desechos urbanos. Por lo tanto, en primer plano, se encuentran las dinámicas urbanas e industriales, sus residuos y su papel en el impacto de la contaminación de suelos y de agua. En segundo plano se

coloca las actividades mineras y agrícolas, sobre todo ganadera, se hace poca mención sobre el mejoramiento de cosechas o de estrategias de mejoramiento en producción sustentable para los productos agrícolas. No hay una especificidad o claridad de los métodos o herramientas para el cumplimiento de los objetivos expuestos.

Por lo tanto, no existe un artículo tal cual que atienda la quema de caña como contaminante de área o de estrategias de monitoreo para los contaminantes atmosféricos por zona, sólo son atendidos aquellos contaminantes de combustión que sean móviles o fijos.

La sustentabilidad en la agroindustria cañera depende en gran medida de los costos de producción. Año con año, estos han ido en aumento, principalmente a causa de la necesidad de combustible para la maquinaria y la necesidad de mayor cantidad de fertilizante por hectárea. La práctica de quema y de fertilizantes nitrogenados, además de dañar la atmósfera, disminuyen la capacidad de producción del suelo. En consecuencia, el uso de los insumos (fertilizantes, plaguicidas...) aumentan, los costos se elevan y no existe un avance en la inversión del sector. Sin inversión, no existe una certificación ni una mejora de la competitividad en los ingenios ni en el campo. Es por ello que la intervención gubernamental para la adopción de nuevos métodos sustentables en el sector resulta urgente.

Enfatizar la importancia de la certificación y de las áreas de oportunidad que se conducen con ello, se refleja en el artículo 62 de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable que menciona *“Los apoyos para la capitalización fomentarán el desarrollo de procesos tendientes a elevar la productividad de los factores de la producción, la rentabilidad la conservación y el manejo de los recursos naturales de las unidades productivas. Además, el Gobierno Federal otorgará estímulos complementarios para la adopción de tecnologías apropiadas, reconversión de los procesos, consolidación de la organización económica e integración de las cadenas productivas”*.

Por otro lado, se han concluido leyes en el estado, que pretenden avanzar en materia del cambio climático, tales cuales son la Ley de Cambio Climático para el Estado de San Luis Potosí, que tiene en su artículo 9, sección I, inciso d): “Fortalecer el combate de incendios forestales; promover e incentivar la reducción gradual de la quema de caña de azúcar y prácticas de roza, tumba y quema”. Sin embargo, muchas de las consideraciones repiten el error de no tener claridad en cuáles serán las estrategias de mitigación; en el inciso anterior, el término “incentivar” resulta ambiguo al no puntualizar qué tipo de incentivo son los aplicables ni cuáles serán los métodos de esos incentivos.

Algunos de sus objetivos resultan muy ambiciosos, de acuerdo a la capacidad de cumplimiento en el proceso de los programas a los que se les adjunta la Ley, como se expresa en el mismo artículo 9, sección I, inciso a): “Alcanzar una tasa neta de deforestación cero en un máximo de cinco años”.

De ésta Ley, se sujeta la Ley para la Prevención y Manejo Integral e Institucional de los Incendios Forestales para el estado de San Luis Potosí que tiene como objeto la prevención y reducción de incendios forestales, así como la capacitación de incendios inducidos para su control acorde a las indicaciones y normas de la NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA⁸. Hay que mencionar que en esta Ley, no hay una mención particular de la quema de caña de azúcar y que sólo se considera la práctica de quema a nivel suelo a cielo abierto para los efectos dispuestos de quemas controladas por “combustible” entendiendo el concepto como *“Material vegetal que tiene la capacidad de encender se y arder, el cual se clasifica por sus dimensiones en ligero, mediano y pesado. El primero arde y se consume rápidamente, como el caso de: hojarasca, pasto, materia orgánica en descomposición y acículas de pino; el combustible mediano tarda más tiempo en arder que los ligeros y menos que los pesados, como el caso de ramas, raíces y conos...”*

⁸ <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3331/1/nom-015-semarnat-sagarpa-2007.pdf>

En el artículo 3, se clasifican los ecosistemas según su vulnerabilidad al fuego: adaptado al fuego, independiente del fuego y sensibles al fuego. La incógnita resulta de saber en qué clasificación se colocan los cañaverales, ya que según la Ley, aquellos adaptados al fuego son zacatales, pastizales, pinares, algunos encinares, algunos matorrales, sabanas, palmares, popales y tulares, en las que el fuego *“cumple un papel ecológico (...) como en mantener el mismo tipo de vegetación en el tiempo y el espacio”*, en esta sección no se especifica qué tipo de vegetación, por lo tanto, queda legalizado la introducción de vegetación secundaria que puede ser o no propicia para la vegetación primaria de la región, es decir, la vegetación propia/típica de la región puede ser sustituida por otra vegetación exógena que no necesariamente puede resultar beneficiosa para el sitio donde se introduzca.

Según el concepto de los ecosistemas adaptados al fuego, expresa que el fuego cumple con un papel ecológico para las funciones y procesos de los ecosistemas: en el aumento de riqueza o heterogeneidad en las especies, pero no aplicable para los monocultivos. Por lo tanto, se pudiera dar a entender que el fuego no tendría que ser aplicable en cañaverales, ya no cumple con un aumento de heterogeneidad ni con la creación de hábitat o de nichos importantes para la vida silvestre.

Los ecosistemas sensibles al fuego, según la Ley, son aquellos que son afectados *“por incendios superficiales, de copa o subterráneos, que impacten severamente sus funciones, procesos ecológicos y los servicios ambientales que prevén. La recuperación de estos ecosistemas dañados por el fuego requiere de largos periodos de tiempo que pueden ir de décadas hasta siglos”*.

A pesar de que la caña de azúcar es un tipo de gramínea, su categoría perteneciente a un agroecosistema adaptado o sensible al fuego. Sin embargo, aún existen discrepancias entre investigaciones e investigadores acerca del impacto de la quema de caña en el suelo, pero, lo que sí resulta evidente, es la emisión de gases efecto invernadero a partir del uso del fuego dentro de sus prácticas de manejo.

3.4.2 Sobre acuerdos relacionados con el proceso de producción de caña de azúcar

Con respecto a la promoción de la cosecha verde, existe un acuerdo que aún no está aprobado, pero que trata sobre los acuerdos para los lineamientos de operación orgánica en productos y actividades agropecuarias. El acuerdo maneja los principios generales de la producción orgánica tales como la lista de productos aprobados para la producción orgánica, las características de los suelos, dinámicas del mercado justo, programa de actividades, herramientas y maquinaria, antecedentes del cultivo propuesto, monitoreo y certificación. El acuerdo tiene por nombre “Sobre acuerdo por la que se dan a conocer los lineamientos para la operación orgánica de las actividades agropecuarias” ejecutado por la SAGARPA y que se conforma de 6 títulos y 278 artículos aún en proceso de acreditación.

De ser aprobado el acuerdo, los incentivos de la cosecha en verde aumentarían, ya que una regulación de la producción entre caña quemada y caña de cosecha verde da en pie la discriminación de precio. Además, el procedimiento expedito que expone el acuerdo hace más viable y rápida la acreditación por que la Secretaría de Acreditación sería de manera Nacional, lo que convierte independiente a México para poder certificarse, lo que es contrario de quedar a la espera de la certificación de mercados europeos o estadounidenses.

3.5 Contradicciones (Bottom Up) de la legislación Rural Sustentable y Cambio Climático⁹

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículo 4to, se establece que *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.”*

Si bien los términos de bienestar y desarrollo no se consideran *a priori*, lo que sí se define es que el cambio climático se correlaciona con las emisiones GEI. El cambio climático es una de las causas, si no la principal, de la modificación de los ecosistemas; además, causa desastres naturales que ponen en riesgo tanto a la biota como a la sociedad. Por ello resulta relevante la disminución de emisiones GEI. Pero ¿existen incentivos para realizar una cosecha en verde?

Según la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar está permitida realizar la cosecha en verde siempre y cuando cumpla con los estándares solicitados en el artículo 67:

“Por caña de azúcar como materia prima para la industria azucarera se entiende la parte de tallo comprendido entre el entrenudo mas cercano al surco y el último entrenudo superior desarrollado, correspondiente a la sección entre los entrenudos 8 y 10, desprovisto, adhiriendo o no, de otras porciones de gramíneas o de tierra, así como los objetos extraños de cualquier naturaleza que sean.”

⁹ Para el análisis Bottom-up se ha tomado como referencia la aplicación de una encuesta dirigida a 15 cañeros entrevistados el pasado septiembre del 2015, 10 procedentes de la Ciudad de Valles y 5 de San Miguel del Naranjo, poblados ubicados en el estado de San Luis Potosí. Los 15 cañeros pertenecen a la Confederación Nacional de Cañeros (CNC) o bien a la Confederación Nacional de Productores Rurales (CNPR). También se entrevistó a dos ingenieros encargados del laboratorio de la caña, de la Ciudad de Valles. No se especificará su membresía, para respetar su derecho a la privacidad de datos personales.

En el artículo 68, se especifica que *“La parte del tallo superior de esos entrenudos 8-10 se denomina cogollo o punto y no tiene valor como materia prima para la industria azucarera...”* y entendiendo que “materia extraña” está incluida por el artículo 69: *“(…) dentro de la denominación, basura, materias extrañas o impurezas: las vainas y hojas o tlazole, puntas o cogollos incluyendo la banderilla o inflorescencia, tallos de desarrollo insuficiente conocidos como mamones o chupones, yemas germinadas o lalas, raíces sueltas o adheridas al tallo, tierra, piedras y cualquier otra materia distinta a la caña de azúcar.”*

Según el artículo 78, la evaluación de la materia extraña se determinará separando ésta de la caña, para después pesarla. El peso de la materia se divide entre el peso bruto de la muestra de caña y se multiplica por 100 para sacar un cociente. Si el cociente supera el 10%, es motivo de multa dictaminado por el Comité y otorga el derecho de rechazo de la caña por parte del ingenio. Esta evaluación sólo la pueden realizar miembros preparados pertenecientes del batey o del campo.

Una vez realizado el corte, la evaluación de materia extraña puede llevar mucho tiempo, lo cual afecta a los cañeros, pues también deben pagar una multa cuando la caña no se entrega fresca. El artículo 73, sección II, indica las características de la caña al momento de la entrega en el batey; ésta debe ser fresca, *“(…) entendiéndose por ello no más de 72 horas después de su corte en el caso de la caña cruda y no más de 48 horas después de su quema”*. Una vez pasado este periodo, la caña empieza un proceso de fermentación en el cual la sacarosa disminuye y por lo tanto la calidad del jugo, éste es otro motivo por el cual los cañeros pueden ser multados.

Si se tuviera la intención de entregar una cosecha en verde, ésta tendría que estar fresca y libre de materia extraña; pero dado el tiempo que se puede perder en la cosecha, la limpia, el transporte y la espera de recepción, los cañeros se enfrentan a un problema contra reloj, ante el cual es preferible quemar la caña y hacer su entrega dentro de las 48 horas permitidas.

Otra razón por la que los cañeros prefieren realizar la quema, es por la relación directa con el precio por tonelada de la caña: el precio es obtenido a partir del cálculo de un kilogramo de azúcar base estándar, es decir el KARBE, en el cual una de las variables claves de cálculo son los grados brix, que determinan el porcentaje de sacarosa en la caña y la pureza del jugo extraído de la misma.

Dos ingenieros de la zona cañera de San Luis Potosí aseguran que los grados brix aumentan durante la quema de la caña, por lo que el KARBE resulta ligeramente mayor en comparación a una caña no quemada. Sin embargo, se debe mencionar que la frescura de una caña verde es inclusive el triple a la de una caña quemada, es decir, que el proceso de fermentación será más lento en una cosecha en verde, lo cual significa que es capaz de alcanzar el mismo nivel de grados brix de la caña quemada, pero en un tiempo mayor.

Para los cañeros, las ventajas de quemar la caña se resumen en las siguientes razones: primero, la caña se limpia de materia extraña; segundo, se usa menos mano de obra, pues no tienen que limpiar la caña con manualmente; y tercero, el precio de la tonelada de caña está en función del KARBE y los grados brix, los cuales son mayores si caña se quema. Pero existe un cuarto motivo, de gran peso, por el cual los cañeros no están motivados a realizar una cosecha en verde: los ingenios no tienen una distinción de precios entre la caña quemada y la caña en verde; es decir, no existe un precio individual de calidad de caña, ni con excepción en los productores que no pertenecen a alguna Confederación, según mencionan los cañeros entrevistados. El artículo 65 del capítulo III, título cuarto, menciona que los pagos individuales deberán ser aprobados por el Comité Nacional siempre y cuando la calidad de la caña cumpla con los estándares de sacarosa aparente descritos en el capítulo II del mismo título.

La condición principal que exigen los ingenios es que la caña se entregue lo más libre posible de materia extraña y debido a que las cosechas en verde son más propensas a presentar materia extraña que la caña quemada (aunque ésta tampoco queda absolutamente libre de materia extraña), son rechazadas por los ingenios. En el caso de San Miguel del Naranjo, los cañeros entrevistados

mencionan que se ha solicitado el pago individual de calidad de caña, pero que las autoridades de la Confederación, en conjunto con las autoridades del ingenio local, no han considerado la petición.

En el Diario Oficial de la Federación, acerca del Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2014-2018, se admite que:

“(...) la agroindustria de la caña de azúcar contribuye a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en campo debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, el consumo de energía eléctrica para bombeo de agua de riego, la quema de caña para cosecha y en fábrica por la emisión de contaminantes a la atmósfera; por lo que acciones de mitigación del cambio climático por parte de esta agroindustria son implementar el uso de los biofertilizantes, realizar un uso eficiente del agua de riego, incrementar la cosecha en verde y reducir las emisiones en fábrica.”

Durante la entrevista, los cañeros mencionaron que están conscientes de la liberación de las emisiones GEI por la quema y que estarían dispuestos a cambiar esta práctica por la cosecha en verde, siempre y cuando ellos no se vean afectados económicamente. Sin embargo, las autoridades locales no han proveído incentivos económicos para cambiar a la cosecha en verde; al contrario, son estos actores los primeros en fomentar la quema.

Después de que el Gobierno Federal se comprometió con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ha desarrollado la Ley del Desarrollo Rural Sustentable desde el 2001, la Ley General del Cambio Climático en el 2012 y ha firmado el Protocolo de Kyoto como primera instancia, ha sido prospecto para el patrocinio de los Mecanismos de Desarrollo Limpio que apoyan proyectos de reducción de emisiones GEI, así como proyectos de secuestro de carbono (sumideros de carbono) pero destinados a proyectos de industria y muy pocos para el campo. El gobierno federal en conjunto con el Banco Mundial ha dado pie al Programa Especial de Cambio Climático que tiene como objetivo impulsar la eficiencia de tecnologías limpias aplicando la Ley de Cambio Climático por estado, pero no incluye todos los estados, ni la especificidad hacia el sector

cañero. Por su parte, la INECC está desarrollando informes oficiales sobre el cambio climático, los cuales tienen como función principal informar acerca de temas como clima, suelo, cambio climático, proyectos de mitigación, vulnerabilidad, biodiversidad, entre otros.

Respecto a la reducción de emisiones, en el último COP21 se ha introducido un nuevo método de mitigación: las Medidas Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA's), las cuales tienen como objetivo promover la implementación de acciones para mitigación de emisiones GEI, generadas particularmente por el sector agrario. Se desglosan en tres temas: (i) Elaboración de un Sistema de Inventario de GEI provenientes del sector agrario; (ii) identificación e implementación de mejores prácticas para la producción agraria; (iii) fortalecimiento de capacidades a nivel institucional, del sector público y privado, para la mitigación de GEI (Felandro y Araujo, 2012). México tiene como objetivo, introducir al sector cañero como prospecto a las NAMA's, pero sólo cubrirán las emisiones generadas en la parte industrial, es decir, sólo las de los ingenios y no las del campo.

4. MODELADO Y ANÁLISIS DE COSTOS AMBIENTALES

4.1 Metodología para el análisis de costos ambientales: aplicación del modelo de Spadaro

Para el análisis económico primero se realizará una clasificación de los costos promedio de producción de un ciclo de cultivo de caña a partir de la entrevista aplicada a los cañeros tanto de Ciudad Valles y de San Miguel del Naranjo. Posteriormente se clasifica aquellos costos que sean fijos y variables del promedio del total de la muestra. Ambos costos conforman el costo privado, mientras que el costo de externalidad representa el costo ambiental; la suma del costo privado y el ambiental da el costo total, que incluye el impacto a la población (externalidad), es decir, el costo total es la representación del costo social.

En el análisis del costo por una externalidad negativa, se tomará en cuenta las emisiones de metano liberadas durante el ciclo 2010/2011 que serán introducidas en la metodología de cálculo monetario por medio de una conversión a toneladas de CO₂, de tal manera que pasarán a incorporarse a la función de costos ambientales y que finalmente pasan al cálculo social.

La razón por la que se ha escogido el periodo 2010/2011 para la toma de datos, es por la facilidad de acceso a datos de ese periodo, tanto de población, superficie cosechada o de emisiones de metano -con la metodología de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)-. Igualmente se ha escogido el metano por ser uno de los principales gases efecto invernadero, 23 veces más caliente que el dióxido de carbono e igualmente uno de los principales emitidos a la hora de la quema de cañaveral. Por lo tanto, el metano, se convierte en una variable visible en dispersión y tiempo de exposición.

Una vez realizado el cálculo de los costos privados y los costos ambientales por quema de cañaveral, se considerarán partes del modelo: el primero, en dónde se realiza el cálculo del Riesgo Relativo (RR), este permite visualizar cuál es el área dentro de la población expuesta que percibe mayor nivel de incidencia por las concentraciones de metano durante un ciclo de producción de caña. Con ello, se puede percibir la población más afectada, y en todo caso, la población más

priorizada en remunerar el costo ambiental. A continuación, la segunda parte del modelado, es el cálculo de monetización de las emisiones de metano del ciclo 2010/2011: la conversión de emisiones de dióxido de carbono, de tal manera de que se puede tener el referente del precio de tonelada de CO₂ aplicada para el cálculo por emisiones de metano.

*Funciones de costos

El cálculo de los costos ambientales, se derivan del término de *externalidades* que se toman como costos adicionales a la ecuación de Costos Privados (CP) dentro de la teoría clásica de la Economía (Samuelson y Nordhaus, 1998).

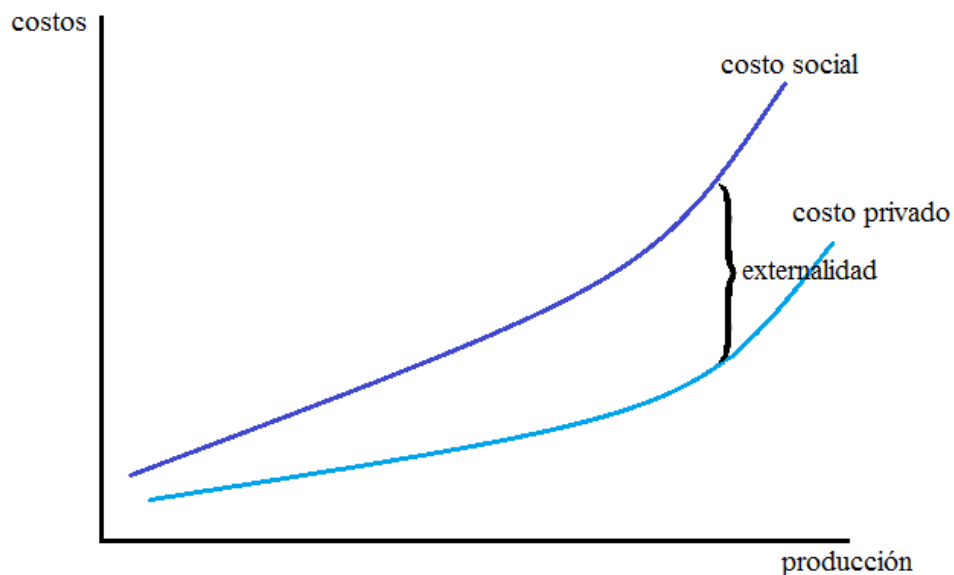


Figura 3. Comportamiento de costos. Elaboración propia.

La función del Costo Privado (CP) se constituye de los Costos Fijos (CF), como la renta o aquellos costos que relativamente permanecen constantes a través del proceso de producción en el tiempo; y los Costos Variables (CV), en los que se incluye el precio de algún factor de producción –como la gasolina- y todos los que varían y afectan directamente en los costos de producción. Siendo finalmente:

Ecuación 2

$$CP = CF + CV$$

Introduciendo los costos ambientales, se suman las externalidades (CA), quedando:

Ecuación 3

$$CS = CP + CA$$

Dónde:

CS: Costo Social

CP: Costo privado

CA: Costo ambiental (incluye ε : Externalidad)

Para poder determinar cuáles son los costos que se abarcan durante el análisis, es necesario conocer cuáles son los tipos de costos.

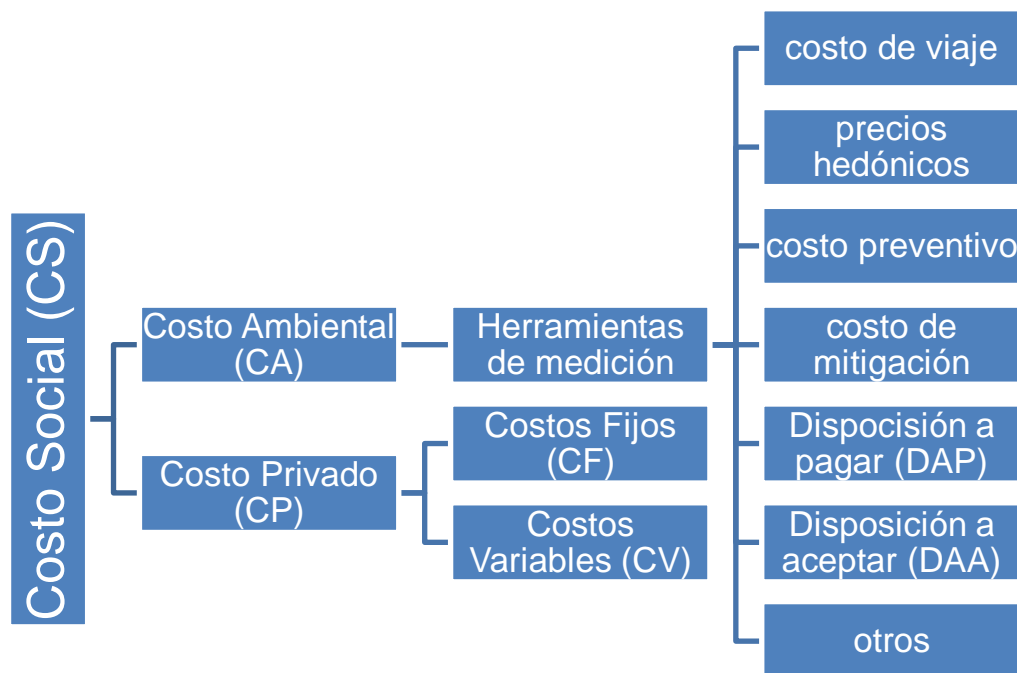


Figura 4. Tipos de costos.

En el análisis se estiman los costos privados, así como el costo ambiental por medio de la herramienta de medición “costo de mitigación”, tomando como referencia el cálculo del modelo de Spadaro, adaptado para el caso de estudio. Con el modelado adaptado se tiene la capacidad de internalizar los costos generados por la externalidad negativa producida por la quema de caña; el costo

ambiental será agregado al costo total, en el caso de estudio considerado como el costo social.

***Escenario de internalización de los costos ambientales**

Para la inclusión de los costos ambientales, se tomará como referencia el modelado de Spadaro (citado por Octaviano, 2011) para puntos de emisión contaminantes puntuales –chimeneas industriales-. Por ello el modelo ha sido adaptado para el cálculo de las emisiones GEI para una área de contaminación, sea en el caso de estudio, ya que se habla de hectáreas y no de una fuente puntual como puede ser una chimenea.

El modelo manejado por Octaviano en CEPAL para fuentes puntuales de concentraciones de gases GEI parte del cálculo de la concentración de emisión GEI para luego ser introducida en una estimación de impacto sobre la salud por medio de una función de exposición-respuesta; ésta tiene la finalidad de estimar la probabilidad de que ocurra un impacto en la salud a partir de un cambio en la dosis de exposición (en éste caso concentración de metano) ante un contaminante (INECC, 2015). La función de concentración de gas “x” aplicada en el método de Spadaro está dado por:

Ecuación 4

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \sum_{j=0, \pm 1, \dots} \left(e^{-\frac{(z+2jh_{mix}-h_e)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+2jh_{mix}+h_e)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$

Donde:

Q: tasa de emisión del contaminante

u: velocidad del viento medida a la altura de la emisión

σ_y y σ_z : parámetros de difusión lateral y vertical

y: distancia en dirección normal a la dirección del vector del viento

z: distancia vertical sobre tierra

h_{mix} : altura de la capa de mezcla

h_e : altura efectiva de la chimenea (altura de la emisión más el levantamiento de la pluma)

j: número de reflexiones de la pluma

$C(x,y,z)$ pasa a introducirse a la función exposición-respuesta:

Ecuación 5

$$F_{er}(r,C(r,Q))=f_{er}(r) \partial C(r,Q), \text{ donde } f_{er}=\partial F_{er} / \partial C$$

Dónde

r , distancia viento debajo de la fuente de contaminación.

Según Octaviano, la función exposición-respuesta F_{er} se puede expresar como el producto del incremento de la concentración por la pendiente de la relación exposición-respuesta (f_{er}), es decir, el incremento que se genera en la pendiente de la relación exposición-respuesta a partir del incremento de una concentración deseada. Por ejemplo, una cierta dosis de arsénico sobre una especie particular de peces por casos de cambio en la pigmentación.

La función de exposición-respuesta está en función del incremento de Riesgo Relativo (concentraciones de gas en $\%/mg^{m^3}$) multiplicado por una línea base que represente todos los casos de problemas a la salud sobre la población expuesta a las concentraciones del gas en cuestión:

Ecuación 6

$$f_{er} = \Delta RR \left(\frac{\%}{\mu g / m^3} \right) * LíneaBase \left(\frac{casosdañoa\text{salud}}{personas/año} \right)$$

Los casos de problemas a la salud están dados según la tasa de incidencia en el número de casos ocurridos en el periodo de la línea base, el incremento del Riesgo Relativo dará una pendiente que refleja la diferencia entre el número de casos, según el aumento o disminución de la concentración de gas.

Después tenemos la función de exposición-respuesta en una función de impacto:

Ecuación 7

$$I = \int \rho(r) F_{er}(r,C(r,Q)) dA$$

Dónde

I : impacto estimado (casos anuales de enfermedad o años de vida perdidos)¹⁰

r : distancia viento debajo de la fuente de contaminación

F_{er} : función exposición-respuesta

$C(r, Q)$: cambio en el incremento de la concentración de fondo en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para una tasa de emisión Q , en el vector de localización r

$\rho(r)$: densidad de la población de riesgo en el vector de localización r (personas/ km^2),

A : área de impacto.

Se realiza una integración incluyen a la densidad de población expuesta a las emisiones y que experimenta sus efectos. El cálculo se hace considerando un sistema de coordenadas al origen del área de contaminación.

Por último se tiene el cálculo de monetización en el que se tiene una última función donde es introducida la función de impacto:

Ecuación 8

$$D = (I) (CU)$$

Dónde:

D : costo estimado de la externalidad (dólares por año)

I : impacto calculado por la ecuación

CU : costo unitario (por ejemplo, costo por ataque de asma)

***El modelo adaptado al caso de estudio**

Nota: Colaboración del Dr. Flores-Jiménez en el modelado adaptado al caso de estudio a partir de los resultados de su trabajo de Tesis doctoral, titulada "Estimación de las emisiones y modelado del transporte de metano en la atmósfera generado por la quema de caña de azúcar en México".

En el modelo original de Spadaro, las concentraciones del gas de efecto invernadero son calculadas para una fuente puntual que pertenece a una chimenea. En el caso de estudio, no existe una fuente *puntual* si no que existe un área que resulta ser la fuente de emisión (las dimensiones de las parcelas son

¹⁰ La referencia más usada por los autores es caso de cáncer, dependiendo del caso; si es contaminación en el aire, puede tomarse el precio por cáncer de pulmón o bronquios.

mayores a la del punto final de una chimenea). Con ello se descartan los datos de número de movimientos de aguja, altura entre punto de emisión y suelo y aquellas variables no acorde a un área de contaminación. De tal manera que fue necesaria la adaptación del modelo original para que se permitiera el cálculo de concentraciones de gases efecto invernadero provenientes de actividades en áreas como fuentes de contaminación. El modelo está dividido en dos secciones, la primera abarca sólo hasta el cálculo del Riesgo Relativo para conocer el nivel de incidencia por AGEB (Área Geoestadística Básica) que pertenecen a la concentración urbana de El Naranjo. La otra parte se conforma del cálculo monetario, haciendo una conversión de las emisiones de metano a emisiones de CO₂ de tal manera que exista un referente monetario (en este caso la referencia del precio se toma de la Bolsa del Clima).

El Riesgo Relativo: “Compara la frecuencia con la que ocurre el daño entre los que tienen el factor de riesgo y los que no lo tienen...” (Fernández, et al, 2002). Éste se toma del cálculo de incidencia de la población “expuesta”, sobre la “no expuesta”, según la matriz 2x2:

Tabla 4. Población considerara para el cálculo de RR. Fernández, et al 2002.

| | Enfermos | Sanos | Total |
|--------------|----------|-------|---------|
| Expuestos | A | B | A + B |
| No expuestos | C | D | C + D |
| Total | A + C | B + D | A+B+C+D |

El Riesgo Relativo queda:

Ecuación 9. Cálculo para Riesgo Relativo

$$RR = \text{incidencia en expuestos} / \text{incidencia}$$

Sujeto a tiempo de exposición en horas que está por encima del promedio y la densidad poblacional.

Ecuación 10. Cálculo de Riesgo Relativo adaptado al caso de estudio.

$$RR = \frac{t.exposición * \rho_{pob}}{t.exp.prom * \rho_{pob.prom}}$$

Dónde

RR: Riesgo Relativo

t.exposición: tiempo de exposición a concentraciones de metano, por encima del promedio de concentraciones.

ρ_{pob} : densidad poblacional por AGEB

t.exp.prom: tiempo de exposición promedio a concentraciones por encima del promedio de concentraciones.

$\rho_{pob.prom}$: densidad poblacional promedio por AGEB

El RR representa un cociente que no varía mucho por encima o por debajo de 1; cuando el valor está por encima de 1, significa que el nivel de incidencia representa un nivel peligroso de riesgo; cuando el valor es igual a 1, significa que no existe un riesgo tal cual y si está por debajo del valor de 1, significa que el factor de “riesgo” actúa como un factor de protección.

Dado que los niveles necesarios de metano para que puedan causar un daño en la salud humana deben de ser extremadamente altos, se ha considera el índice de incidencia, por lo tanto se considera en categoría de riesgo a las personas expuestas a las concentraciones de metano bajo el supuesto de que son inherentes al tiempo de exposición, ya sea sobre un área o sobre la concentración urbana (AGEB's).

Tabla 5. Niveles de exposición a metano y efectos. Fuente: Alberta, 2004.

| Niveles de exposición (ppm) | Efecto o síntoma |
|-----------------------------|---|
| 1000 | 8 horas (Valor Límite Umbral) ¹¹ |
| 50,000 a 150,000 | potencialmente explosiva |
| 500,000 | Asfixia |

¹¹ Valor límite de exposición de referencia, EPA-USA.

En el caso utilizado por Octaviano, el Riesgo Relativo se refiere al incremento de incidencia de una enfermedad en particular, por una unidad de incremento en la concentración de contaminantes sea $PM_{2.5}$, PM_5 , PM_{10} . Para poder dimensionar el RR de nuestro caso, se requiere las mismas unidades de medición y no se considerarán los casos de problemas de salud sobre la muestra, si no a la densidad poblacional expuesta al tiempo de los niveles más altos registrados de metano con base al tiempo monitoreado en el día de recolección de datos. Por lo tanto, se tomará en cuenta el tiempo de exposición en el que fue registrada sobre el área de concentración urbana total de todos los AGEB's por la densidad de población por AGEB -los valores más altos que estén por encima del promedio del tiempo de exposición-. A continuación, para tener el cociente, el tiempo individual de cada AGEB se divide entre el tiempo promedio que resulta de la sumatoria de todos los tiempos de exposición de todos los AGEB's por la densidad promedio del total de los AGEB's

A continuación, un resumen esquemático del proceso del modelo original y del modelo adaptado al caso de estudio:

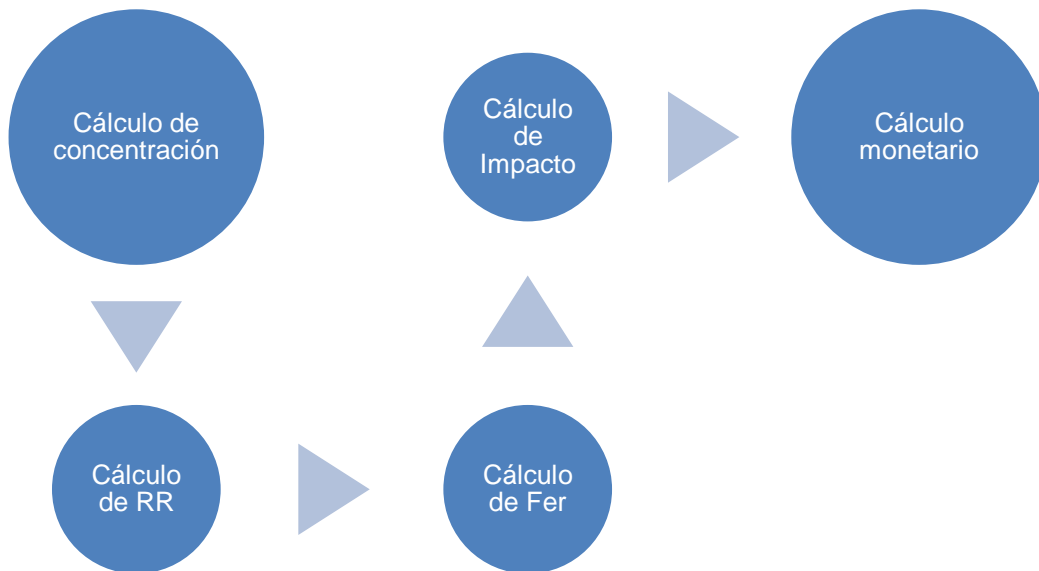


Figura 5. Pasos de metodología, modelo original Spadaro, 1999.

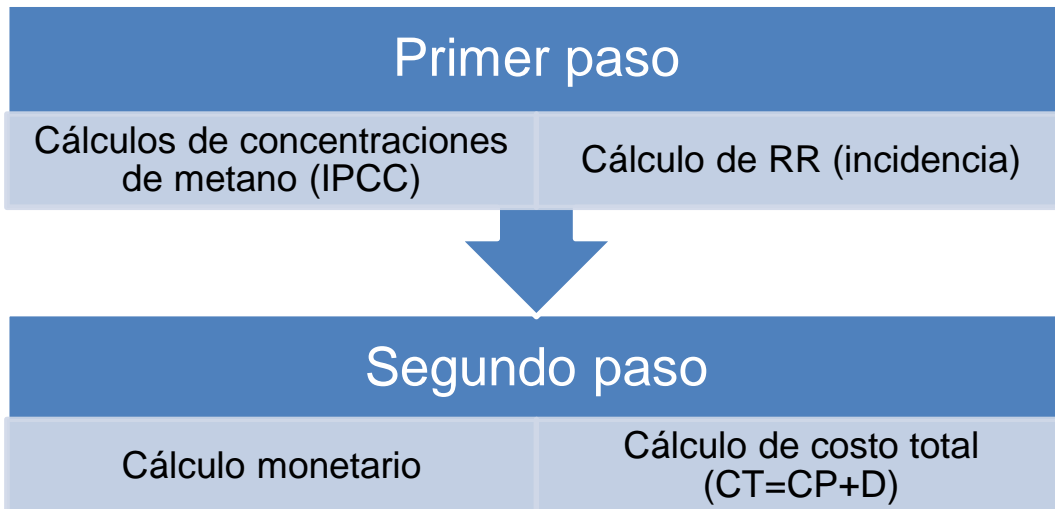


Figura 6. Pasos metodología adaptada para caso de estudio.

***Datos**

- Cálculo de concentraciones de metano, según metodología del IPCC: Datos tomados a partir del trabajo de Tesis de David Enrique Flores-Jimenez, 2016.

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), es el organismo internacional al que se le atribuye la evaluación científica del cambio climático. Este organismo fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial en coordinación con la UNEP con el objetivo de tener mayor precisión de los posibles riesgos con los cambios climáticos y facilitar las decisiones de adaptación y mitigación (IPCC, 2013).

El IPCC tiene diferentes metodologías de cálculo de emisiones según la fuente y actividad. En el caso de la caña de azúcar, la metodología aplicada es para las emisiones CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas, ya que al momento de quemar el cañaveral, lo que arde son los tallos y materia seca de la caña lista para cosechar.

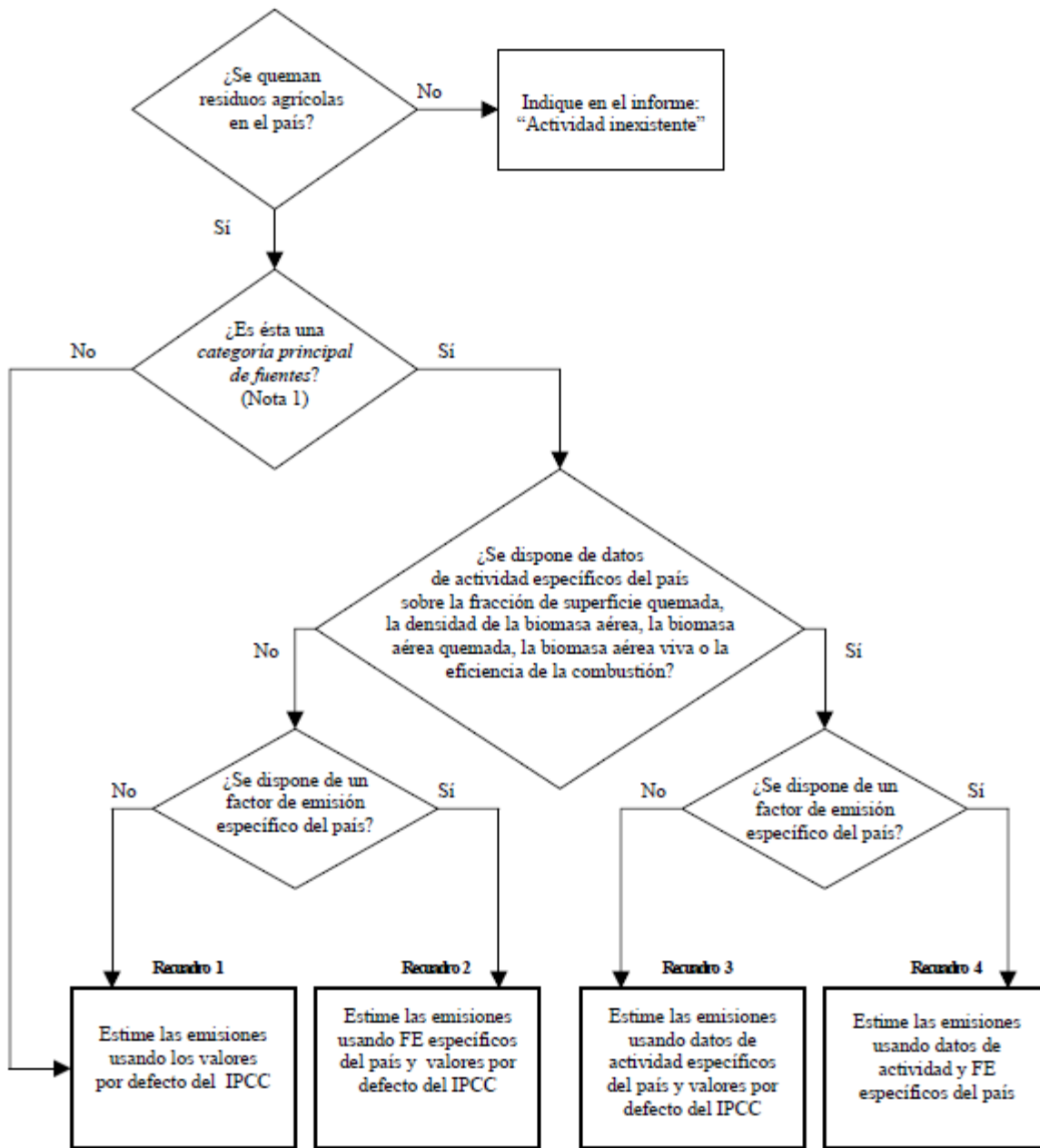


Figura 7. Árbol de decisiones aplicables para el cálculo de emisiones de metano y óxido nítrico por quema de residuos agrícolas. Fuente. IPCC, 2003.

Para la estimación de concentraciones por quema de caña en el estado de San Luis Potosí, utilizó la metodología de la “buena práctica” según los estándares de las Directrices del IPCC. La buena práctica se aplica cuando un país no cuenta con los datos de actividades y factores de emisión propios y consiste en la estimación de cinco partes:

- i) La fracción de residuos que se quema en los campos;
- ii) La fracción retirada de los campos y quemada en otro lugar (vinculado con el tratamiento);
- iii) La fracción consumida por los animales en los campos;
- iv) La fracción que se descompone en los campos, y
- v) La fracción utilizada por otros sectores (p.ej., biocombustible, alimentos para el ganado doméstico, materiales de construcción, etc.).

Según las Directrices del IPCC, sugiere que en la buena práctica se incluya una estimación del 10% de quema para países desarrollados y un 25% para países en desarrollo.

El cálculo de la estimación de metano en esta investigación es a partir de los datos de la tesis por el Dr. Flores-Jiménez¹², quien usó la metodología de Seiler y Crutzen para los primeros pasos de la estimación:

- 1.- estimación del total de masa de vegetación quemada
- 2.- cálculo de la biomasa de carbono liberado a la atmósfera, que está en función del porcentaje de carbono contenido en la biomasa
- 3.- valor de la eficiencia en el proceso de combustión en relación con la liberación del metano durante la combustión de la caña de azúcar.
- 4.- resultados introducidos al modelo de dispersión del metano.

El modelo de dispersión de metano fue simulado con el software Weather Research and Forecasting Model (WRF), que permite incluir un análisis físico del comportamiento de la dispersión, según Flores-Jiménez (2016):

¹² Egresado con obtención de grado de Doctorado por parte del Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias, UASLP, presentando su tesis "Estimación de las emisiones y modelado del transporte de metano en la atmósfera generado por la quema de caña de azúcar en México" (2016).

“La parte física incluye la microfísica del WSM esquema de granizo blando 6-clase, que tienen en cuenta parámetros como la condensación, la precipitación y el calor latente (Hong y Jade, 2006); También se incluye los esquemas de radiación de RRTM (Rapid Modelo de Transferencia de Radiación) para considerar la radiación de onda larga y Dudhia (1989), considerar también la radiación de onda corta.”

Además, dentro del cálculo de emisiones por “quema de residuos agrícolas” el IPCC utiliza como referente la quema de caña de azúcar, por lo que se puntualiza el tipo de residuo sin tener duda si refiere a otro cultivo¹³.

- Limitantes

Para el tiempo de exposición se tomará como referente el tiempo por encima del promedio después de haber realizado el monitoreo de presencia del metano que se emitió por quema de cañaveral el día 24 de abril del 2011, día del cual el Servicio Meteorológico Nacional nos brindó todos los parámetros meteorológicos en un transcurso de 24 horas de esa fecha. La razón por la que se ha considerado sólo un día es por cuestiones técnicas mismas del software en uso. Con el software WRFPLOT, se mide el tiempo desde el momento de inicio de quema y el tiempo de dispersión sobre el área del municipio de El Naranjo, el cálculo tarda aproximadamente 30 días en realizar el cálculo de concentraciones de metano para un solo día.

Los datos de niveles de concentraciones han sido calculados cada 10 minutos durante todo el día correspondiente al 24 de abril del 2011 para la región del Naranjo, se han promediado los niveles de concentración de metano y se han considerado sólo el tiempo en el que el nivel de metano rebasó el promedio, esto es un valor mayor a 5 ppm de concentración de metano.

- Densidad de población:

Se han utilizado los datos de AGEB's (Área Geoestadística Básica) proporcionado por INEGI para tener mayor precisión en la cantidad de población; al usar los AGEB's se tiene mayor certeza de la población total que existe según la división

¹³ Para más detalles de la metodología, véase en Anexos.

considerada por INEGI, es decir, que en vez de sólo tener un dato de población total por municipio, se tiene la población total por colonias de la mancha urbana de interés. Los AGEB's ayuda a determinar la zona geográfica urbana que puede ser la más propensa a la exposición ya que la información es ofrecida por colonia e inclusive se puede agregar el nombre de calles principales de la concentración urbana.

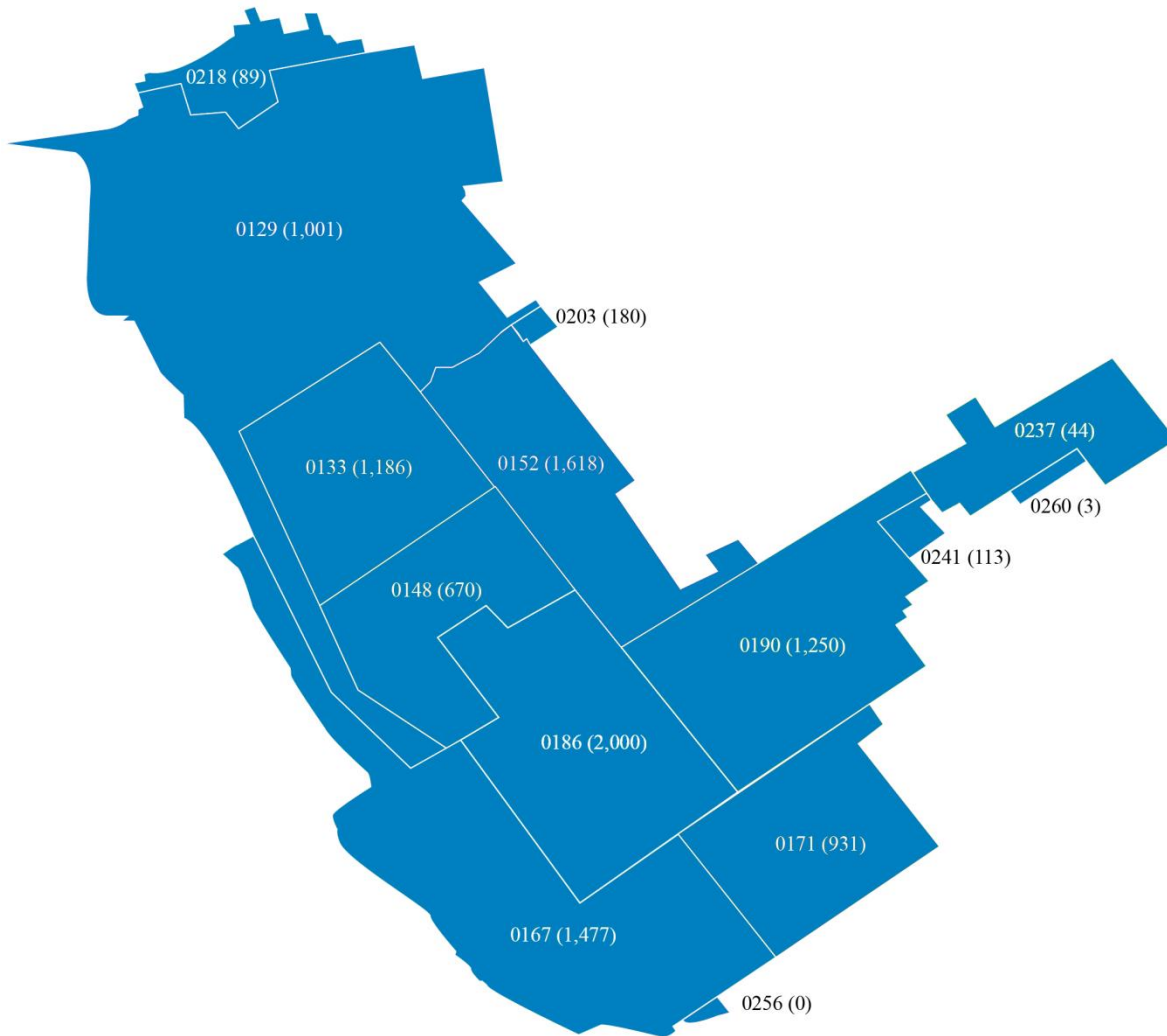
Los AGEB's que se han considerado se muestran en el siguiente mapa, junto con la cantidad de población a la que pertenece cada división:



Mapa 2. Localización de San Miguel del Naranjo, SLP. Fuente: SCINCE, INEGI.



Mapa 3. Ubicación de concentración urbana de El Naranjo. Fuente: SCINCE, INEGI.



Mapa 4. Clasificación de AGEBS con clave y entre paréntesis población total en mancha urbana de la cabecera municipal de El Naranjo, SLP, 2010. Fuente: Colaboración de Cadenas¹⁴, con datos de AGEBS, Censo y conteos de población y vivienda, INEGI 2010.

Para el cálculo de la densidad poblacional, se ha medido el área por AGEBS, proporcionado por las herramientas directas de SCINCE en INEGI y se ha dividido la población total por AGEBS entre el área total en km², de tal manera que se tiene personas/km².

- Dispersión de concentraciones de metano, según el simulado en WRF:

¹⁴ Stephany Cadenas, estudiante en el Programa de Diseño Gráfico de la Facultad del Hábitat, UASLP.

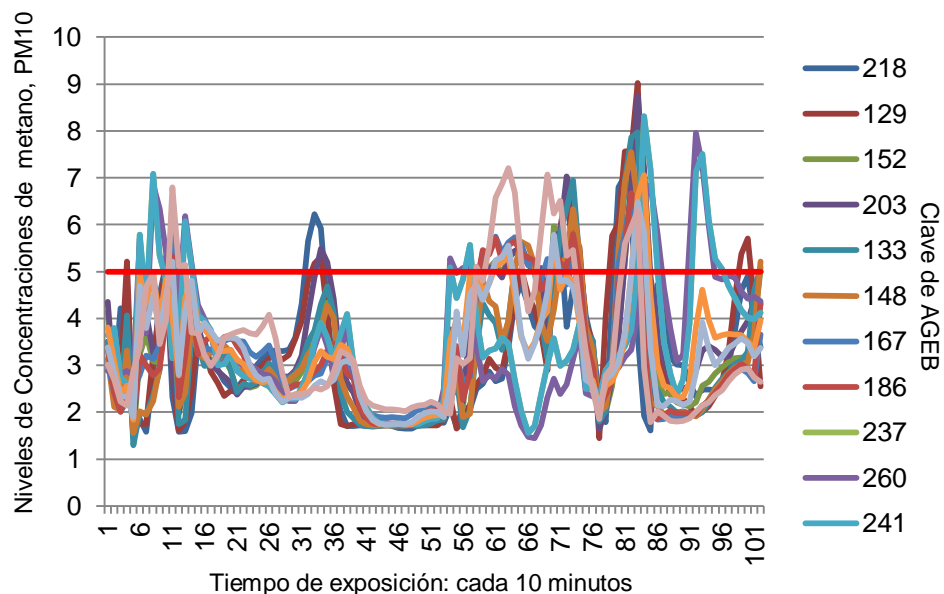


Gráfico 6. Comportamiento de las concentraciones de metano por AGEB, en el municipio de El Naranjo, SLP. 24 de abril del 2011. Fuente. Elaboración propia con resultados de WRF.

4.2 Clasificación de gastos derivados de la producción de caña: el caso de San Miguel del Naranjo, San Luis Potosí

Para el análisis se ha tomado como referencia la aplicación de una encuesta dirigida a 18 cañeros entrevistados el pasado septiembre del 2015, 13 procedentes de la Ciudad de Valles y 5 de San Miguel del Naranjo, poblados ubicados en la zona Huasteca de San Luis Potosí, de tal manera que dieran a conocer los gastos de producción y poder clasificar los costos variables, los costos fijos y cuáles pudieran ser clasificados como costos ambientales. Los 18 cañeros pertenecen a la Confederación Nacional de Cañeros (CNC) o bien a la Confederación Nacional de Productores Rurales (CNPR), es decir, que no hay ningún productor independiente. No se especificará su membresía, para respetar su derecho a la privacidad de datos personales.

- Puntos a aclarar:

El siguiente análisis de costos tiene un total de 13 muestras escogidas de manera intensional, ya que al momento de aplicar la entrevista, aquellos cañeros que no se sintieran confiables en revelar toda la información en cuestión no se les obligó a

contestar el 100% de ella; por ello es que de los 22 cañeros entrevistados, sólo 13 lograron cubrir las preguntas de costos.

***Observaciones de resultados de aplicación de encuesta**

Dentro de los resultados se puede observar que todos los cañeros mencionaron no realizar un pago de renta por el uso de tierra, ya que mencionaron ser los propietarios de sus hectáreas.

La mayoría de los cañeros, prefieren producir una caña de temprano ciclo; la razón más mencionada fue porque que consideran que son las primeras en cosecharse, es decir, por la cuestión de producción de menor tiempo, lo consideran favorecedor para ellos. Otra razón que consideran al momento de elegir el tipo de caña que cultivarán, es el tipo de suelo que tienen sus tierras y por último, la razón menos mencionada es por la capacidad de adaptabilidad del tipo de caña al clima y poco propicias a plagas.

Casi el 100% no usa cachaza como agregado al suelo y la maleza más común es el zacate Johnson, seguido por lo denominado “hoja ancha” y “frijolillo”. El costo promedio de herbicida (por hectárea) resultó de 543.8 pesos por ciclo de producción, mientras que el costo promedio por aplicación de plaguicida es de 1991.6 pesos por hectárea. La plaga más concurrente para los entrevistados es la mosca pinta, seguido por el gusano barrenador y por último el grillo. El 50% no utiliza algún otro agroquímico y solo 3 mencionaron aplicar madurador o enraizador.

El 50% no ocupa algún otro gasto y quienes sí, el gasto varía de 3000 a 1500 pesos más.

El tipo de cosecha que se realiza, en su mayoría es manual, solo 5 realizan corte de cosecha de manera mecanizada, mientras 3 respondieron realizar un corte mixto.

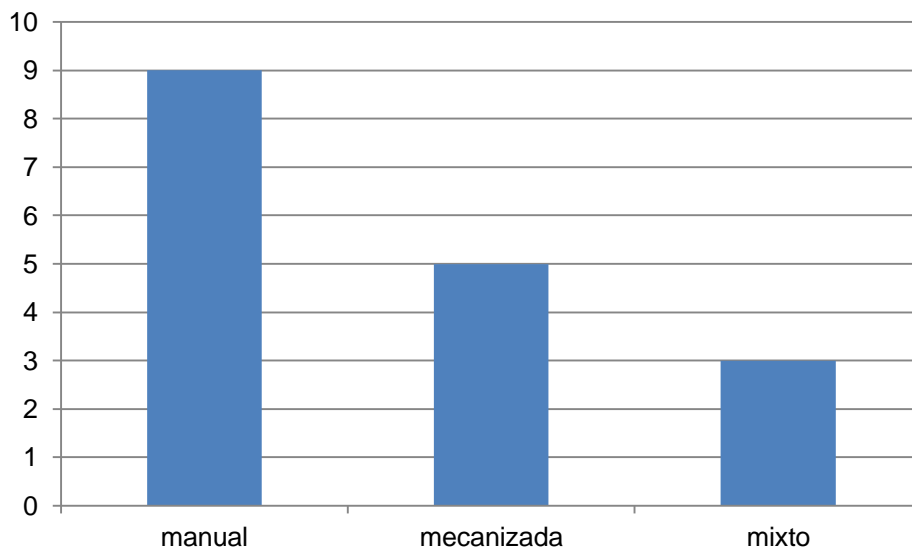


Gráfico 8. Tipos de cosechas que se practican en el caso de estudio. Elaboración propia.

El promedio de trabajadores que contratan para el corte manual es de 4 por hectárea que por lo regular trabajan 8 horas realizando el corte, mientras la cosechadora trabaja 24 horas sin parar. El pago promedio que se otorga a los trabajadores es de 97.7 pesos por tonelada cortada.

El promedio de litros de combustible que usan para la cosecha de una hectárea es de 53.3 L con un precio de 14.80 pesos el litro de diésel.

La producción promedio de caña de azúcar es de 71t/ha siendo el ingenio el único comprador y único destino de producción según los productores entrevistados, es decir, que la producción no es destinado a otro mercado, propietario o industria que no sea más que el ingenio local.

Más de la mitad, considera que las ganancias totales obtenidas son regulares, es decir, que no sobra ni debe, mientras que sólo 2 cañeros consideran que las ganancias son buenas, es decir, que les sobra o son más ganancias de las proyectadas.

El pago que reciben los cañeros en promedio es de 476.7 pesos por tonelada y mencionan que la producción de caña es su principal actividad sin algún otro tipo

de ingreso, ya que solo 3 cañeros mencionaron realizar otra actividad aparte de la producción de caña.

El 100% de los entrevistados pertenecen a un organismo o comisión de cañeros, sea CNC o CNPR, por razones desconocidas, no hicieron mención de la cuota de adscripción, sólo 4 responden de manera muy dispereja en la que el precio de cuota varía de los 3 a los 25 pesos ya sea por tonelada producida o por hectárea cosechada.

El promedio de distancia, o la distancia recurrente que existe entre la propiedad del cañero y sus cañaverales es de 17 km, mientras que la distancia concurrente entre cañaverales e ingenio es de 25 km en promedio.

El principal prestatario es la misma comisión y el préstamo mínimo mencionado es de 500 pesos por hectárea hasta los 20,000 por hectárea. El préstamo por lo general es pedido para abarcar un año de gastos, dependiendo de la cantidad de dinero solicitado y aprobado.

El 50% de los cañeros no reciben asesoramiento por parte de las comisiones y sólo un caso menciona haber pagado por asesoramiento.

14 de los 18 cañeros entrevistados, contestaron tener apoyo principalmente económico de alguna institución federal, siendo SAGARPA la principal, seguido de CONAFOR pero calificaron el apoyo que recibido como "Regular". Cuando se les cuestionó que tipo de incentivo se requiere para que se pueda dar una cosecha sin necesidad de quema, la principal respuesta fue "incentivo económico" aclarando que debe de venir por parte de las instituciones federales (SAGARPA, CONAFOR, SE, etc). También consideran que el ingenio debería de diferenciar el precio entre caña cosechada sin quema y caña quemada.

Al momento de preguntar el número de accidentes que han ocurrido en un ciclo de producción, ningún entrevistado contestó cantidad de casos, pero afirmaron que si han existido casos de daño a la salud, como quemaduras, pulmonía y accidentes laborales (cortadas y otras lesiones no especificadas).

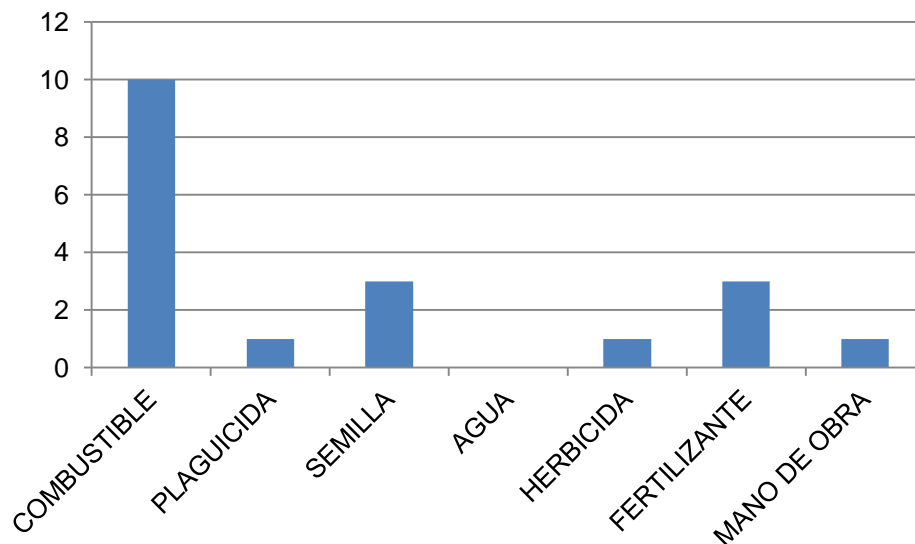


Gráfico 9. Principal insumo del que los cañeros desean disminuya el precio.

Dentro de los incentivos sociales, se está de acuerdo en que debe de aumentar la coordinación entre los cañeros y una mejoría en el asesoramiento por parte de las comisiones cañeras. Pero sobre todo, se está a favor de una mayor cobertura del seguro social para las actividades de cosecha, no especificaron el porqué.

Por último, entre los incentivos políticos, se pide mayor patrocinio por parte del gobierno en la inversión del sector, especificando un aumento en la maquinaria requerida para la cosecha y que al mismo tiempo, impulse la cosecha en verde; más programas enfocadas a la producción sustentable de la caña, es decir, que no agoten el recurso que les proporciona el suelo. Se habla de modificar las leyes y programas dirigidas al sector que tengan como objetivo cubrir las necesidades locales de los cañeros, es decir, la aplicación de discriminación de problemáticas según los gremios de cañeros por estado. Se agrega el deseo de que el ingenio vuelva a pertenecer a propiedad federal y no privada.

Para el cálculo de los costos de producción -el costo privado que se estima por cada cañero-, es necesario primero clasificar los costos variables y fijos: dentro de la investigación y de acuerdo a la definición de costos fijos, se llegó a la conclusión de que no existen costos fijos en el caso de estudio, ya que los cañeros no pagan algún tipo de renta e inclusive su cuota a la comisión también resulta variable por

ser determinada por el volumen de producción de caña de azúcar en cada ciclo, por lo tanto, la totalidad de los costos, estarán en función de los costos variables - aquellos que se modifican proporcionalmente de acuerdo al volumen o cantidad de insumos que se empleen en la producción-.¹⁵

Tabla 6. Clasificación de los costos promedio por actividad en el cultivo de la caña por ciclo, caso de estudio.

| Descripción | precio por unidad | cantidad requerida por ha | gasto total por ha (promedio de resultados) |
|---|-------------------|---------------------------|---|
| Arado: | | | 2,450.00 |
| • Subsuelo | 350.00 | 1 aplicación | 350.00 |
| • Barbecho | 200.00 | 1 aplicación | 200.00 |
| • Surcado | 500.00 | 1 aplicación | 500.00 |
| • Rastra | 350.00 | 4 aplicaciones | 1,400.00 |
| Fertilizante | 400.00 | 1000 kilos | 4,507.69 |
| Herbicida | 518.00 | 1 litro | 518.84 |
| Plaguicida | 150.00 | 3 litros | 1,991.66 |
| cortadores | 95.00 | 20 | 1,953.00 |
| salario a trabajadores (pago x ton) | 97.65 | 4/ha (7.62 hrs) | 6933.42 |
| litros diesel para cosechadoras | 14.70 | 53.33 | 789.28 |
| | | costo total promedio | 20,543.89 |
| producción promedio de toneladas de caña de azúcar (ganancia) | 476.69 | 71.75 toneladas | 34,202.50 |
| | | ganancia neta | 13,658.61 |

Primero se analiza el comportamiento estadístico de cada variable considerada para los gastos promedio:

¹⁵ En cualquiera de los escenarios considerados, se tomarán los valores promedio del total de muestras para mayor facilidad en los cálculos.

Tabla 7. Resumen de parámetros estadísticos por variables.

| no. de muestras | variables | media | Desv. Estándar | mínimo | máximo | Intervalo de confianza (95%) | varianza | coef. De variación | error estándar |
|-----------------|--|---------|----------------|--------|---------|------------------------------|----------|--------------------|----------------|
| 13 | costo por preparación de tierra | 2946.15 | 900.5696 | 1000 | 4000 | 2401.945-3490.363 | 811025.6 | 0.3056 | 249.7731 |
| 13 | costo por fertilizante por ha | 4507.69 | 2058.503 | 2000 | 9000 | 3263.751-5751.633 | 4237436 | 0.4566 | 570.9261 |
| 13 | costo por herbicida por ha | 518.846 | 206.6413 | 285 | 1000 | 393.974-643.7183 | 42700.64 | 0.3982 | 57.3119 |
| 13 | costo de plaguicida por ha | 1991.67 | 3214.939 | 200 | 1991.66 | -51.0018 - 4034.34 | 9474514 | 1.6141 | 928.073 |
| 13 | cantidad de trabajadores cortadores | 21.0769 | 14.2622 | 4 | 60 | 12.4583-29.6954 | 203.4103 | 0.6766 | 3.9556 |
| 13 | horas trabajadas por cortadores | 7.6153 | 1.6602 | 5 | 12 | 6.6121-86186 | 2.7564 | 0.21801 | 0.4604 |
| 13 | salario a trabajadores pago x ton | 97.6538 | 55.26202 | 33.5 | 200 | 64.2593-131.0484 | 3053.891 | 0.5658 | 15.3269 |
| 13 | cantidad de litros de combustible cosechadoras | 53.3333 | 57.73503 | 20 | 240 | -1.0197 - 107.6864 | 3333.334 | 1.3258 | 23.5702 |
| 13 | producción de toneladas de caña | 71.75 | 12.96229 | 50 | 100 | 63.1479-80.35206 | 168.0208 | 0.1886 | 3.9082 |
| 13 | pago por tonelada | 476.692 | 41.4676 | 400 | 563 | 451.6337-501.7509 | 1719.564 | 0.0869 | 11.50105 |

El comportamiento de las variables con respecto a los datos estadísticos, muestran un comportamiento normal, es decir, de distribución gaussiana normal para el total de las muestras, dado el hecho de que se obtuvieron una cantidad reducida de observaciones.

Sólo en el caso del costo por herbicida y de cantidades de litros de combustible para cosechadoras resulta muy variable ya que la extensión por de las hectáreas por productor varia mucho. De igual modo, no hay una cantidad fija para los litros de combustible por cosechadora. El tiempo en el que esté trabajando la cosechadora sobre una hectárea depende en gran medida de la condición del suelo en el momento de cosechar, ya que si el suelo está muy húmedo hay mayor dificultad de cosechar, o si la superficie está sobre alguna pendiente, si el suelo contiene materia rocosa o si el espacio entre parcelas no es el adecuado para la cosechadora, de la misma manera, si la caña ha sido quemada o no,

varía el tiempo de trabajo de la cosechadora y por lo tanto de la cantidad de combustible necesaria por parte de la maquinaria (consulte Ríos y Rincón, 2014).

Con la tabla anterior de gastos promedios, se tienen los datos necesarios para establecer la función de costos variables:

Ecuación 11

$$CVf(ton) = \frac{\text{precio_insumos}}{ha} + L * \left(\frac{w}{ton} \right) \left(\frac{ton}{ha} \right)$$

Dónde:

CV: costos variables

precio_insumos: el precio de cada insumo necesario para la producción de caña de azúcar

ha: hectárea

L: mano de obra

w: salario por mano de obra

ton: tonelada de caña producida por hectárea

Sustituyendo los valores que resultaron de la encuesta, la función queda:

Ecuación 12

$$\begin{aligned} CV &= \left(\sum \text{cos.fert, cos.herv, cos plag, cos.arado, cosQLt.cosechadora} \right) + \left(\frac{(w)}{ton} \right) \left(\frac{ton}{ha} \right) \\ &= (4507.7 + 518.85 + 1991.66 + 2450 + 789.28) + (97.67)(71) \\ &= 7807.5 + 6934.57 \\ &\approx 20,543.89 \end{aligned}$$

La sumatoria de los insumos no incluyen todos los gastos de producción, sólo han sido considerados aquellas respuestas que la mayoría contestó y se han promediado para llegar a un valor absoluto.

Para el cálculo de utilidades netas se tiene que:

Ecuación 13

$$\begin{aligned}U_{netas} &= ((\$porton)(ton/ha)) - CP \\U_{netas} &= ((476.7)(71.75)) - 20.543.89 \\&= 34,202.5 - 20,543.89 \\&= 13,658.61\end{aligned}$$

Con lo anterior se puede decir que para poder mantener un nivel de producción promedio (71 ton/ha) de caña de azúcar, se debe de invertir aproximadamente 20,543.89 pesos desde el inicio del cultivo hasta el momento de la cosecha para solo una hectárea. Si el precio por tonelada de azúcar es de 476.7 pesos y el rendimiento por hectárea son 71.75 toneladas, la ganancia inicial es de 34,202.5 pesos (71.75 x 476.7), dejando 13,658.61 pesos como ganancia neta (ganancia inicial – costo variable). Si éstas ganancias tendrían que cubrir los 12 meses del año, dejarían un ingreso de 1,138.21 pesos aproximadamente para cada mes.

En la agroindustria azucarera se les da prioridad a los cañeros que tienen una tendencia hacia el monocultivo, mientras que aquellos con menos a 5 hectáreas de cultivo, por lo general deben de complementar su actividad cañera con algún otro trabajo para abastecer sus necesidades (Aguilar-Rivera, 2014, Paz, 1999).

4.3 Resultados del modelado

a) Parte uno.- Nivel de Incidencia: Riesgo Relativo.

Supuestos: Las concentraciones de metano calculadas con WRFPLOT que están por encima del promedio, son inherentes al tiempo de exposición total calculadas. Tanto tiempo de exposición como concentraciones, están individualmente calculadas por AGEB.

Recordando la ecuación del Riesgo Relativo, es:

$$RR = \frac{t.exposición * \rho_{ob}}{t.exp.prom * \rho_{ob.prom}}$$

Dónde

RR: Riesgo Relativo

t.exposición: tiempo de exposición a concentraciones de metano, por encima del promedio de concentraciones.

ρ_{pob} : densidad poblacional por AGEB

t.exp.prom: tiempo de exposición promedio a concentraciones por encima del promedio de concentraciones.

$\rho_{pob.prom}$: densidad poblacional promedio por AGEB

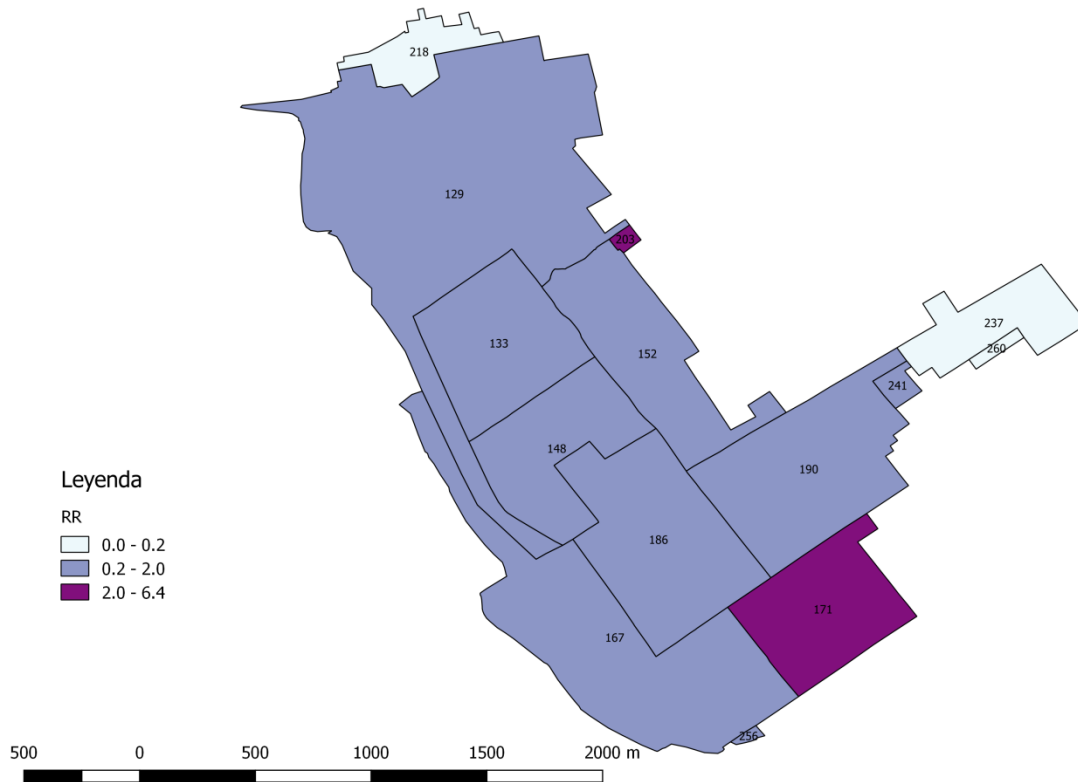
Resultados:

Tabla 8. Tabla de resultados de nivel de incidencia: Riesgo Relativo.

| Clave de AGEB | área de AGEB km ² | población total por AGEB | densidad pob/km ² | Concentraciones de metano | Tiempo de exposición (hr) arriba del promedio | Riesgo Relativo |
|---------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|---|-----------------|
| 218 | 0.1124 | 89 | 791.90 | 3.1358 | 1.5 | 0.1244 |
| 129 | 1.3600 | 1,001 | 736.03 | 3.2693 | 3 | 0.2313 |
| 152 | 0.3850 | 1,618 | 4,202.34 | 3.3593 | 3 | 1.3207 |
| 203 | 0.0093 | 180 | 19,437.29 | 3.5187 | 3.16 | 6.4343 |
| 133 | 0.3753 | 1,186 | 3,159.94 | 3.1726 | 2.16 | 0.7150 |
| 148 | 0.3278 | 670 | 2,043.63 | 3.1294 | 2.16 | 0.4624 |
| 167 | 0.7389 | 1,477 | 1,998.90 | 3.2805 | 3 | 0.6282 |
| 186 | 0.5104 | 2,000 | 3,918.66 | 3.2229 | 2.83 | 1.1617 |
| 237 | 0.1984 | 44 | 221.78 | 3.4805 | 2.6 | 0.0604 |
| 260 | 0.0138 | 3 | 217.50 | 3.4672 | 2.5 | 0.0570 |
| 241 | 0.0234 | 113 | 4,829.06 | 3.4805 | 2.6 | 1.3153 |
| 190 | 0.5084 | 1,250 | 2,458.53 | 3.3903 | 1.16 | 0.2988 |
| 171 | 0.3373 | 931 | 2,759.76 | 3.2680 | 7 | 2.0237 |
| 256 | 0.0057 | 0 | - | 3.4447 | 3.33 | 0.0000 |

Dentro de los resultados, se puede observar que el cociente que refleja el RR, siendo menor a 1, significa que la exposición a las concentraciones de metano, resultan un factor de protección para la población, a excepción de los AGEBs con clave 152, 203, 186, 241 y 171 que tienen valores por encima de 1, siendo el 203 el más alto con un valor de 6.43. Esto puede deberse a que existe una irregularidad en el cálculo de la densidad poblacional: el AGEB 203 es el segundo

AGEB más pequeño del Naranjo con una población total igual a 180. El resto de los AGEBs que presentan un RR mayor a 1 puede deberse a la misma razón – irregularidad del cálculo de densidad poblacional-.



Mapa 5. Comportamiento del Riesgo Relativo en los AGEBs del Naranjo. Elaboración propia con software QGIS, versión 2.14.2.

Bajo el hecho de que el metano no causa un daño visible sobre la población, y bajo el hecho de que sólo se tienen datos de monitoreo de dispersión y concentración de metano de un solo día, no se puede concluir *a priori* el hecho de que las concentraciones de metano repercuten sobre la salud de la población expuesta. En teoría, el RR refleja el porcentaje de personas expuestas a algún riesgo que afecte directamente sobre su salud o en el aumento de mortalidad, pero en este caso, dada la irregularidad de la densidad poblacional y el nivel de concentraciones de metano, además de haber realizado monitoreo de presencia de metano por un día, no se puede relacionar el nivel de mortalidad con la presencia de concentraciones de metano ni por emisiones del mismo gas, sólo se

puede concluir que el nivel de incidencia estará en función del tamaño del área y la población expuesta y el tiempo de exposición al que se está la presencia de concentraciones de metano.

Por lo tanto sólo se observa que el RR tiene un comportamiento irregular –dado el cálculo de la densidad poblacional: los AGEB’s tienen un área por lo general menor a un km², es por ello que los resultados de la densidad poblacional por AGEB resulta muy alta- y consecuentemente en el nivel de incidencia.

b) Parte dos.- Cálculo de monetización

Según la teoría económica, el costo ambiental es generado a partir de una externalidad (positiva o negativa) que debe de ser visual ante la sociedad, es decir, que todo valor a un recurso o producto es un valor antropocéntrico que debe de ser medido por el individuo para el beneficio del resto de los afectados (Leff, 2004). Por lo tanto, el valor de la externalidad negativa generada por el metano será calculado de las emisiones producidas dentro de un ciclo de caña por medio de una conversión a emisiones de CO₂ utilizando el Potencial de Calentamiento, luego calcularlo según el precio por tonelada de CO₂, tomando como referencia los valores en USD por parte de la Bolsa del Clima de Chicago al cual México está afiliado.

El cálculo de las emisiones de metano del año 2011 ha sido tomado del mismo proceso de cálculo de las concentraciones de metano del IPCC:

Tabla 9. Resultados de conversión de emisiones de metano a emisiones de dióxido de carbono.

| Emisiones totales | Potencial de Calentamiento | Conversión (Emisiones totales x Potencial de Calentamiento) | Valor mínimo de tonelada de CO ₂ : 2 USD x 23,364.32 | Valor máximo de tonelada de CO ₂ : 24 USD x 23,364.32 |
|-------------------|----------------------------|---|---|--|
| 1015.84 ton | 23 | 23,364.32 | 46,728.64 dlls | 560,743.68 dlls |

El costo generado de la externalidad negativa de las emisiones de metano durante un ciclo de producción de caña de azúcar, para el caso de San Miguel del Naranjo, es de un valor mínimo de 46,728.64 dólares anuales y que puede llegar a un valor máximo de 560,743.68 dólares anuales.

Se debe resaltar que las emisiones consideradas para el cálculo monetario no pertenecen únicamente a las emisiones generadas por la quema de cañaveral, sino que provienen de diferentes fuentes –como vagones, chimeneas, automóviles y otros tipos de fuego-, pero considerando que la producción de caña de azúcar es la principal actividad económica de la localidad, se toma en cuenta que el resto de las emisiones se derivan de ésta primera actividad, es decir, que las actividades están dependientes de la producción de caña: por lo tanto, la totalidad de las emisiones estimadas para el año se adjuntan a la actividad de la producción de caña de azúcar.

***Función de costos totales**

Los costos totales por la sumatoria de todos los AGEB's tienen un valor máximo de 560,743.68 dólares y 46,728.64 dólares como valor mínimo. Esta sumatoria sería el costo generado por la externalidad negativa proveniente de las emisiones de metano generadas en un ciclo de producción de caña. Considerando que todo el periodo de zafra (de acuerdo a Aguilar-Rivera, 2011), el periodo de zafra puede abarcar hasta dos meses), que es el mismo periodo en el que se realizan las quemas de cañaverales, y que tiene una duración de aproximadamente 60 días, adhiriendo el resto de las actividades en torno a la caña, el costo por la externalidad negativa mencionado resulta el costo que se cobraría a la totalidad de productores de caña registrados en la región de El Naranjo, ya que son éstos quienes generan la producción de caña.

Según el modelaje, el día de monitoreo corresponde al año 2011, en ese mismo año se existían aproximadamente 3,600 cañeros entre la CNC y la CNPR (se considera que los cañeros pueden pertenecer a CNC o al CNPR, tan sólo por parte de la CNC, en el 2010 se registraron 1837 cañeros, pudiendo suponer la

misma cantidad para la CNPR ; 3600 cañeros aproximadamente)¹⁶, por lo tanto, el total del costo generado se reparte en la totalidad de la población productora de caña:

$$\text{Valor mínimo: } 46,728.64 \div 3,600(\text{cañeros}) = 12.98\text{dolls}$$

$$\text{Valor máximo: } 560,743.68 \div 3,600(\text{cañeros}) = 155.76\text{dolls}$$

12.98 dólares sería el costo mínimo y 155.76 dólares el valor máximo en dólares por todo el periodo de quema durante la zafra; valor máximo aproximadamente 2,881.56 pesos mexicanos por cañero.

Recordando que:

$$CS = CT$$

$$CT = CP + CA$$

Por lo tanto:

$$CT = \$20,543.89 + \$2,881.56$$

$$= \$23,425.45 \text{ pesos mexicanos}$$

El costo generado por la quema de cañaveral durante todo el periodo de zafra, que se incluye en el costo ambiental, produce una alza del 19.54% en los costos totales por cada productor.

Este es el costo que surge bajo el supuesto de una producción constante, y cierta área que no tiende a la expansión, bajo un mismo tipo caña y bajo el mismo número de cañeros registrados, con precios constantes durante cierto periodo. Pero la realidad refleja que los costos variables no están expuestos en su totalidad: los 20,543.89 pesos “promedio” por ciclo, no incluyen cuota a comisión, pago de gasolina para vagones que llevan la caña a ingenio, no incluyen costo de riego –en caso de riego-, entre otros gastos.

¹⁶ Pineda, R, presidente de la CNC estatal, comunicación personal en junio 2016.

En sumatoria de las variables no incluidas, y sobre todo en el caso del costo de bombeo en caso de riego, los costos podrían variar entre un 22 a un 54%¹⁷ sin agregar la variación del 19.54% más por el costo social. Para un productor cañero con menos de 5 hectáreas, estas variaciones pueden ser muy perjudiciales para su producción e ingresos, considerando los valores ya mencionados.

¹⁷ Análisis de sensibilidad realizado para un caso presentado durante las entrevistas.

5. ALTERNATIVAS PARA EL IMPULSO DE LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN EL SECTOR CAÑERO

5.1 Programas internacionales para la mitigación de emisiones GEI

5.1.1 Bonos de carbono por parte del Banco Mundial

El nombre de Bonos de Carbono se ha dado como un nombre genérico a un conjunto de instrumentos que pueden generarse por diversas actividades de reducción de emisiones (Pérez y Gallardo, 2009).¹⁸

El funcionamiento de emitir los bonos de carbono se resumen en tres pasos (Ibid):

1. El Banco autorizado otorga incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir bióxido de carbono (CO₂) como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado.
2. Se expiden Certificados de Reducción de Emisiones (CER's por sus siglas en inglés) los cuales se calculan en volúmenes equivalentes a metros cúbicos o toneladas de CO₂ que no fueron emitidos a la atmósfera.
3. Los CER's son otorgados en una cuenta electrónica a favor de los desarrolladores de los proyectos (MDL) una vez que se hayan realizado las respectivas reducciones. Los CER's generarán elementos comercializables, sujetos a la ley de la oferta y demanda.

A través de la venta de crédito triple A, la venta de los bonos de carbono son autorizados por el Banco Mundial con el objetivo de apoyar los proyectos que sean referentes a la mitigación del cambio climático, energía renovable y adaptabilidad de grupos vulnerables y la agricultura que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero. El Banco ayuda a la financiación para los bosques y el manejo de cuencas y la infraestructura para evitar daños relacionados con el cambio de clima y apoyo a la resiliencia climática.

El Banco Mundial recauda fondos a través de la venta de bonos verdes de los inversores de renta fija para apoyar los préstamos del Banco Mundial para

¹⁸ <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html>

proyectos elegibles que tratan de mitigar el cambio climático o ayudar a las personas afectadas a adaptarse a ella. Los créditos pueden ser comercializados varias veces, además de poder ser intercambiados con el Banco Mundial y otras agencias destinadas a los bonos verdes. Desde 2008, el Banco Mundial ha emitido ahora alrededor de USD 8,5 mil millones equivalente en bonos verdes a través de más de 100 transacciones en 18 monedas.¹⁹

Los incentivos económicos emitidos por parte del Banco, tienen una visión que empieza desde el aumento del crecimiento económico y no tan acorde con los principios de desarrollo económico, el mismo Banco Mundial expresa: *“En general, la financiación necesaria para una transición ordenada a la creciente, con poco carbono y economías resistentes se puede contar en los billones de dólares, no miles de millones. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, el mundo necesita \$ 1 billón al año entre 2012 y 2050 para financiar una transición de bajas emisiones”*.²⁰

Una ventaja directa que se puede tener de la venta de los bonos de carbono, es que si un proyecto que consista únicamente en la reducción de emisiones GEI (producción sustentable) puede obtener el financiamiento necesario para la compra de maquinaria de países que buscan la obtención de bonos de carbono. El trato funciona como un trueque en el cual el país que aún tiene un intervalo por debajo del límite de contaminación, obtiene bonos de carbono y es vendido o intercambiado por maquinaria a países al rango límite de contaminación que buscan la compra de bonos de carbono.

5.1.2 Bolsa del Clima

- SCX, Santiago de Chile

Esta empresa, única en Latinoamérica, está dedicada a la venta de certificados VCS (Verified Carbon Standar). Los certificados están conformados según los estándares de emisión del Protocolo de Kyoto y se alinea con un programa de

¹⁹ <http://treasury.worldbank.org/cmd/htm/WorldBankGreenBonds.html>

²⁰ <http://www.worldbank.org/en/topic/climatefinance>

contabilidad de reducción de emisiones GEI. Los VCS son descritos como “créditos que son reales (...) verificados de manera independiente, numerado de forma única y listados transparentemente en una base de datos central.”

Posteriormente, los VCS emiten los VER (Verified Emission Reduction) que otro tipo de certificación para las iniciativas que estén dentro del listado (como clientes) de la Bolsa del Clima. Los VER funcionan como compensaciones representado en un bono de carbono, esto se traduce, en que dicho proyecto tiene como finalidad reducir una tonelada de emisión de CO₂.

Para poder participar en las iniciativas patrocinadas por el SCX, es necesario tener un proyecto donde los principales objetivos sean dentro de las temáticas de energía solar y eólica, eficiencia energética, forestación y la captura de metano de rellenos sanitarios u otros que tengan que ver con el tema de energía limpia y captura de emisiones GEI.²¹

Los principales clientes son la energética Copec, la productora de explosivos SK Enaex, la forestal Arauco, la transportadora marítima Compañía Sudamericana de Vapores, la cadena de supermercados Unimarc, la eléctrica CGE y la comercializadora de materiales de construcción y para el hogar Sodimac, además de Concha y Toro, según su lista de proyectos. Por lo que al parecer, lo único que se necesita es ser una empresa bien establecida (si es nacional, mejor) con iniciativa de reducir sus emisiones GEI derivadas de su sistema de producción y obviamente tener la rentabilidad suficiente para invertir en la compra de bonos de carbono.

- CCX, Chicago E.U.A

En la página oficial de la Bolsa del Clima, no existe un registro exhaustivo para participación, pero funciona como una extensión de la Bolsa del Clima de Chicago (CCX), por lo tanto, el registro de participación se resume en tres pasos: en primer lugar, se solicita una verificación de participación, de cual, de la página oficial de la Bolsa del Clima de Chicago, se descarga. Es una solicitud de aproximadamente

²¹ <http://www.scx.cl/>

35 preguntas en las que se indaga las actividades de la empresa, objetivos y métodos de producción, además de solicitar un inventario de emisiones de mínimo 5 años de la empresa. Segundo, se realiza la visita de un verificador oficial de la CCX para finalizar las actividades y papeleo de verificación. El tercer paso, es el registro, donde se presenta el proyecto como propuesta ante el resto de los verificadores oficiales, quienes determinan si es acreedor de los VCS y bonos de carbono.²²

Sin embargo, ha surgido mucha controversia sobre la teoría emergente de la economía: ambiental y ecológica, por la gran crítica ética y moral sobre poner un valor monetario a la certificación de bonos, haciendo creer que con ese “permiso de contaminación” se cubren todas las indisposiciones que provocan las externalidades negativas (como mortalidad, enfermedades e inclusive días inhábiles de trabajo), por lo tanto, existe una confrontación en el mercado de la asignación de un valor monetario *real* ante las circunstancias provocadas (Spadaro, 1999).

5.1.3 Mecanismos de desarrollo limpio (MDL's)

Los Mecanismos de Desarrollo Limpio son aquellos proyectos financiados por cualquier inversionista privado o por el gobierno que esté destinado a la reducción de emisiones GEI. El inversionista obtiene Créditos de Carbono bajo la convicción de que el nivel de emisiones generadas por la compañía en situación disminuye en comparación con un escenario en el que la compañía no invierte en ningún proyecto MDL. Los créditos obtenidos son acorde a los objetivos del Protocolo de Kyoto y concluye en que las reducciones no resultan ni más ni menos reducción, sino que simplemente cambia la localización geográfica de la reducción de gases (Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania, 2010).

Los participantes de los proyectos MDL cuentan con un autofinanciamiento para luego buscar un comprador de créditos de carbono. Sin embargo, lo común es que

²² <https://www.theice.com/ccx>

los gobiernos y compañías de países industrializados sean quienes proporcionan el financiamiento. Finalmente, el inversionista del país industrializado (patrocinador) puede reclamar el crédito obtenido y ser usado para alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones.

Para poder ser prospecto de un proyecto MDL es necesario haber cumplido con el ciclo del proyecto MDL, que consiste en 12 pasos dividido en cuatro bloques:

1. Validación: en éste bloque se define el proyecto prospecto y se cumple con el formato oficial que describe el proyecto, por lo tanto los pasos son; documento de diseño del proyecto (DDP), luego, el proyecto debe de ser presentado a la Autoridad Nacional, este segundo paso es “aprobación del proyecto del MDL por el país anfitrión, después se debe de dejar un periodo de 30 día para la consulta pública, este acto es el tercero del bloque.
2. Registro: este bloque se desglosa en; requerimientos del proyecto, en el que el DDP es presentado en la secretaría del MDL; solicitud de revisión/revisión del proyecto, en esta etapa el proyecto puede ser rechazado sino cumple con todos los requisitos solicitados en DDP; aprobación del consejo ejecutivo del MDL, en este paso, el registro del proyecto se hace oficial.
3. Verificación y Certificación: Los pasos que conforman este bloque son; monitoreo, el cual consisten en la recolección de datos (antecedentes) solicitados en DDP; Verificación, los verificadores oficiales llevan a cabo una revisión periódica de su proyecto y, se determina a priori de la reducción de emisiones monitoreadas; certificación del informe de monitoreo, se verifica si el proyecto está acorde la reducción de emisiones GEI, es decir, si existe concordancia y seguimiento en el proyecto.
4. Emisión: en primer lugar está la solicitud de emisión, es el paso donde los informes de verificación y monitoreo son enviado a la secretaría del MDL, en segundo lugar está el análisis/rechazo de la solicitud de emisiones, en este paso, el proyecto puede ser rechazado si no logra demostrar una reducción de emisiones significativas, de acuerdo con la verificación del

GHG y en tercer lugar está la aprobación del consejo ejecutivo del MDL, en este último paso, las reducciones certificadas de emisiones son expedidas y se distribuyen los créditos de carbono a los participantes del proyecto.

Como se puede observar, el proceso de acreditación de un proyecto MDL es muy tardado, en tan sólo el proceso de aplicar un proyecto prospecto, transcurre mínimo un año, también dependiendo de la burocracia del gobierno del país anfitrión.

En México, 178 proyectos MDL han sido aceptados, éstos se dividen en 11 categorías: Manejo de residuos en granjas porcícolas, manejo de residuos en establos de ganado vacuno, metano de rellenos sanitarios, manejo de aguas residuales, energía eólica, hidroeléctricos, incineración HFC-23, mitigación de N₂O en la industria química, cogeneración y eficiencia energética, transporte y por último emisiones fugitivas. Este último sólo aplicado en 2 estados; Veracruz y Coahuila, pero no existe una particularidad de quema de residuos agrícolas, ni alguna determinada para el sector cañero.²³

5.1.4 Sumideros de carbono

Los sumideros de carbono son aquellos proyectos que se dediquen a la forestación y reforestación. A diferencia de los MDL's, estos proyectos no tienen como objetivo reducir las emisiones GEI si no secuestrarlas por un tiempo determinado, por medio de la vegetación. Además, los certificados obtenidos en este tipo de proyectos son los RCE que son temporales y se dividen en corto y largo plazo, y que después deben de ser sustituidos por RCE permanentes.

Los sumideros de carbono deben de cumplir con cierta cantidad de absorción de carbono, no debe de ser menor a 16.000t-co₂/año y deben de estar ubicados en zonas de comunidades de bajos ingresos. Por último, el proceso de aceptación del proyecto es el mismo que para los MDL's con el detalle de que es un proceso más lento por la situación de los árboles usados.

²³ <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/proyectosmdlmex.html>

En México, SAGARPA ha trabajado en coordinación con la REDD (Reducción de la Deforestación y Degradación de los Bosques) para integrar el sector agropecuario a proyectos de adaptación al cambio climático y aprovechamiento para la implementación en áreas rurales como sumideros de carbono (SAGARPA, 2012).

Cabe mencionar que América latina y México en particular (con Costa Rica) son países que tienen más avances en los programas de pagos por servicios ambientales.

En materia del avance de proyectos y políticas, SAGARPA y CONAFOR, dividen los avances en tres categorías: forestal, agropecuario y energético con la intensión del secuestro de CO₂ y reducción de emisiones GEI: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/336/politicas.html>

5.1.5 Proyectos de pequeña escala

Esta categoría es dedicada a la reducción de emisiones de carbono por medio de la sustitución de energía fósil, por energía renovable, especialmente los niveles de electricidad en pequeñas comunidades, deben de cumplir con una cantidad de reducción no menor a 15GWh/año o 15 toneladas de CO₂/año.

La participación del público y una evaluación de impacto ambiental son necesarias y apegadas a los requisitos solicitados en el DDP. El proceso de aceptación de estos proyectos, son bajo los mismos estándares que los MDL's.

5.1.6 Acciones de Mitigación Nacionales Apropriadas (NAMA's)

Después de la COP16 que se llevó a cabo en Cancún en el 2010, México se comprometió a fortalecer las acciones en contra del cambio climático, según el Acuerdo de Copenhague.

Según Socorro Flores Liera, encargada de los puntos focales de la Convención, el compromiso del Gobierno mexicano, sería reducir 51 millones de toneladas de CO₂ a partir del 2012 hasta el 2020 y reducir las emisiones GEI en un 30%

durante el mismo periodo a nivel nacional, por medio de acciones patrocinadas de manera financiera y tecnológica por otros países considerados “desarrollados”. Las acciones llevadas a cabo, estarían enfocadas a la reducción y adaptación al cambio climático (ONU, 2011).

Desde 2007, en la COP 13 llevado a cabo en Indonesia, se ha empezado a llevar a cabo las Acciones de Mitigación Nacionales Apropriadas, NAMA's (por sus siglas en inglés). Que a diferencia de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, las NAMA's no tienen como finalidad la obtención de Bonos de Carbono, sino la disminución de emisiones GEI por medio de ayuda entre naciones adscritas al Protocolo de Kyoto. Además, las NAMA's, son específicas a las emisiones GEI, ya que recaen directamente en las acciones de reducción de emisiones y no precisamente en la generación de nuevos proyectos para ahorro de energía, es netamente en la reducción de emisiones GEI.

Aunque no exista un concepto *a priori* de las NAMA's, el Plan de Acción de Bali expresa que son “*Medidas de mitigación apropiadas a cada país por las Partes que son países en desarrollo en el contexto del desarrollo sostenible, apoyadas y facilitadas por tecnologías, financiación y actividades de fomento de la capacidad, de manera mensurable, notificable y verificable*” y que se entienden como las acciones propuestas por los países en desarrollo que reduzcan las emisiones GEI abarcando medidas políticas, financieras, tecnológicas, programas, regulaciones, en sí, toda medida de reducción.

Existen tres tipos de NAMA's:

1. Las NAMAs unilaterales; acciones autónomas realizadas por los países en desarrollo para lograr reducciones de emisiones sin contar con apoyo o financiamiento externo.
2. Las NAMAs con asistencia y soporte, o cooperativas; consisten en acciones ejecutadas por los países en desarrollo que se llevan a cabo con apoyo financiero o de otro tipo provisto por los países desarrollados y que resultan en reducciones más elevadas que se ejecutan unilateralmente.

3. Las NAMA's que generan créditos; al producir reducciones de emisiones que exceden las que ocurrirían en caso de ponerse en marcha NAMA's con apoyo y que cuyos excedentes produzcan títulos de crédito que puedan usarse en el mercado global de carbono.

Los proyectos que se lleven a cabo, no deben de ser necesariamente exclusivo de algún tipo de NAMA's anteriores, sino que podrá aplicar para NAMA's mixtos, según la escala de los proyectos prospectos (Finanzas Carbono, 2016).

En México, ya han empezado algunos proyectos NAMA's relacionado con la industria tequilera, la construcción de viviendas sustentables y el transporte. Existe una base de datos propia de los proyectos de NAMA's en el que se desglosan los proyectos por país.²⁴ Según la INECC, México es el primer país en recibir financiamiento para un proyecto NAMA destinado a la construcción de viviendas más sustentables, los países patrocinadores fueron Alemania y Gran Bretaña (INECC, 2014).

El International Renewable Energy Agency (IRENA) es el encargado de la recepción de proyectos que gusten participar como NAMA's. A simple vista, los NAMA's no resultan con un trámite tan robusto como los MDL's ya que sólo tienen 3 fases de tramitación; de concepción, de implementación y de operación y durante el proceso existe gran flexibilidad para editar el proyecto en prospecto.²⁵

Se pretende que poco a poco se introduzcan más proyectos en los que se incluya los ingenios azucareros, según lo propuesto en la COP 16 realizada en París, Francia en diciembre 2015, pero el proyecto sólo se ha presentado como propuesta, ya que, hasta ahora, no existe un plan fijo que sea para los ingenios. Además, no ocupa el aspecto de la quema de caña o NAMA's directamente en ningún cultivo, pero resulta tolerante ya que las NAMA's se han puesto en

²⁴ Para ver el listado de los proyectos NAMA's en México, visite: <http://www.nama-database.org/index.php/Mexico>

²⁵ Liga directa para el manual IRENA: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_NAMAs_handbook_2014_SP.pdf

práctica apenas en el 2014 y desde su comienzo se incluye el sector azucarero (Muñozcano, 2014).

5.2 Uso de energías limpias: el caso del etanol y la cogeneración

La situación en México, referente a las refinerías que trabajan en el sector cañero, se basa en pocas variedades de caña, las cuales son destinadas principalmente a la producción de azúcar y que como se ha mencionado, se ve en desventaja con el aumento de la demanda de JMAF y con los grupos “No Calóricos”. Por lo tanto, el resto de los subproductos, no se vende con eficiencia agregando el bajo nivel de redes I+D+I que no aportan a la competitividad del sector. Consecuentemente, el sector no crea ventajas en el mercado dulce ni cañero por su baja competitividad y su insuficiente e ineficiente infraestructura. Según Aguilar-Rivera (et al, 2012) menciona:

“Las condiciones de la demanda de elementos limitadores abarcar un mercado interno principal de azúcar (75% del azúcar producido en el interior se consume en el país), (...) [por lo tanto], una reducción drástica de la producción de etanol (78,4%), mientras que las importaciones de JMAF aumentan significativamente.”

Según el mismo autor, las refinerías cumplían una edad promedio de 77 años, con tecnologías obsoletas que disminuyen la productividad y aumentan los costos. Es por ello, que de las primeras mejoras que deben de impulsarse, es el aumento en el valor de la caña, ampliando los subproductos. Aumentando la capacitación de técnicos en campo, mejorando la calidad de los tipos de caña en los campos de experimentación de la caña, mejorando el desarrollo de conocimientos y habilidades de los productores primarios y ampliando la gestión y formación de redes de información y tecnología, se puede crear el ambiente propicio para la producción sustentable de la caña. SAGARPA inició un programa TIC (tecnologías de la información y la comunicación) que según Aguilar-Rivera (2012) comenzó en el 2008 pero del cuál no se le había dado seguimiento. Ahora con base del Componente de Extensión e Innovación Productiva (CEIP), el programa TIC tiene por nombre SERMexicano (Sistema de Extensionismo Rural Mexicano) que ha

empezado desde el 2014, pero que de igual manera al TIC tampoco hay documentos donde se confirme el seguimiento del programa. El objetivo que tiene SERMexicano engloba: *“incrementar la producción de alimentos mediante incentivos para la adquisición de insumos, construcción de infraestructura, adquisición de equipamiento productivo; realización de obras y prácticas para el aprovechamiento sustentable de suelo y agua; proyectos integrales de desarrollo productivo; desarrollo de capacidades y servicios profesionales de extensión e innovación rural; fortalecimiento de las organizaciones rurales y esquemas de aseguramiento para atender afectaciones provocadas por desastres naturales.”* Se debe destacar, que no hay mención acerca de la vulnerabilidad de los productores ante el cambio climático, ni objetivos que especifiquen la adaptabilidad y sostenibilidad ante el mismo problema.

Las adquisiciones más ambiciosas a las que apunta el mercado de la caña, es a dos productos: el azúcar y el etanol. Con el surgimiento de la necesidad de la búsqueda y aplicación de energías limpias (renovables), el bioetanol y la bioelectricidad –derivado del uso del bagazo-, la caña de azúcar representa la segunda más importante fuente primaria de la matriz energética (Senties-Herrera, et al, 2014).

El caso del etanol, permite una combustión más limpia a diferencia del petróleo, además de un mejor rendimiento en motores, lo que conlleva a una reducción de emisiones GEI; se espera que dentro de los próximos 10 años, la demanda del bioetanol aumente considerablemente.

Dentro de la cadena de producción de los ingenios, existe una amplia gama de costos, pero éstos deben de presentarse en menor proporción en los países propicios de la caña, como lo es el caso de México. En Brasil, se ha apostado por el desarrollo de tecnologías agrícolas e industriales que tienen como objetivo principal la expansión de la producción de etanol.

En el caso de Cd. Valles, la producción promedio por hectárea resultó ser 70 ton/ha, en una productividad promedio de 80 ton/ha se pueden derivar 6,800 litros

de bioetanol y se puede aprovechar 30% del bagazo disponible y mitad de la paja seca para la producción de bioelectricidad.

Según Sentíes-Herrera (2014), la producción de bioetanol se puede dar por dos vías tecnológicas *“utilizando materias primas dulces, directamente fermentables, como la caña de azúcar y la remolacha azucarera, o materias primas amiláceas, como el maíz y el trigo, cuyo almidón debe ser convertido en azúcares (sacarificado) antes de la fermentación. Una tercera vía, utilizando la biomasa disponible en materiales como el bagazo y la paja, hidroliza las cadenas celulósicas y produce una solución fermentable de azúcares, presentando gran interés gracias al bajo costo de la materia prima.”*²⁶

Con la utilización del bagazo para la producción de bioelectricidad, la demanda energética térmica y eléctrica de las refinerías, pueden ser atendidas que además pueden generar un excedente para la red pública; este escenario se ha venido presentando en algunos sitios del país, como en el caso de San Miguel del Naranjo, aunque no siempre cubra un excedente para la red pública.

La producción de etanol a partir de la caña de azúcar resulta viable y sostenible, ya que la gramínea puede de alta productividad y baja demanda de insumos energéticos exógenos (como el riego por temporada, su alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelo) a diferencia de otros cultivos como las hortalizas. Los elementos fisiológicos de la caña y su composición química de los sub y coproductos como la cachaza, melazas, vinazas, lodo y aguas residuales ofrecen un compuesto de azúcares, carbohidratos y material lignocelulosico que abre las posibilidades de industrialización hacia rutas físicas químicas y biotecnológicas (Gálvez, 20000 y De la Torre, 1989, citado por Sentíes-Herrera, 2014).

²⁶ <http://extensionismo.mx/web1/index.php/layout/poblacion-objetivo>

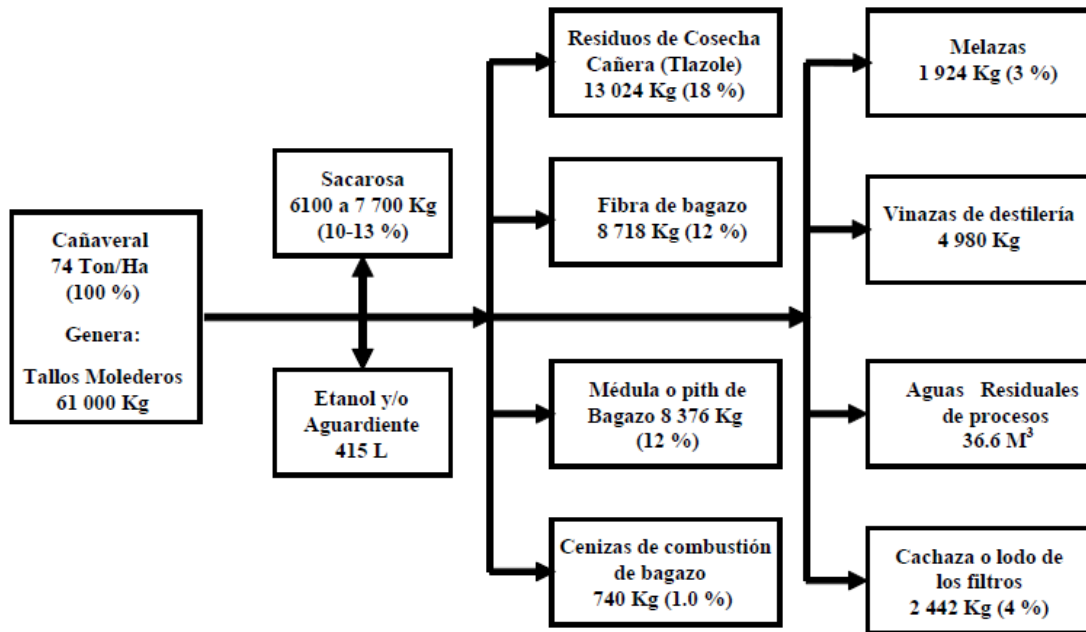


Figura 8. Principales derivados de la caña de azúcar, clase uno. Fuente: Aguilar-Rivera, et al, 2012.

La sustitución del petróleo por el etanol, podría evitar hasta 89% de emisiones de CO₂ al año a nivel nacional, provenientes de fuentes industriales y móviles considerando el bioetanol, bagazo y residuos secos de la caña a tal grado que para cada 100 millones de toneladas de caña de azúcar destinadas a fines energéticos, podría evitarse la emisión de 12,6 millones de toneladas de CO₂ equivalente (Aguilar-Rivera, et al, 2009). A todo lo anterior, el impulso de proyectos de generación de energía renovable, es posible la obtención de bonos de carbono, certificación y un mayor nivel de competitividad a partir de cuatro direcciones principales; obtención de energía, de productos químicos, reciclado en la actividad agrícola y utilización en la alimentación ganadera.

Según Aguilar-Rivera (2009), los derivados de la caña, se pueden caracterizar según su complejidad tecnológica y su valor agregado del producto final y desagregados en 4 generaciones: 1) al uso directo de los subproductos con bajo nivel de procesamiento, 2) las que integran los subproductos y coproductos azucareros para la generación de otros derivados y que implican baja complejidad tecnológica, 3) los productos obtenidos de transformaciones químicas que las

diferencian del producto de origen y tienen alta complejidad tecnológica y 4) los productos obtenidos a partir de subproductos, derivados de segunda y tercera generación, de alto valor agregado. Parten de tecnologías químicas y bioquímicas de alta complejidad.

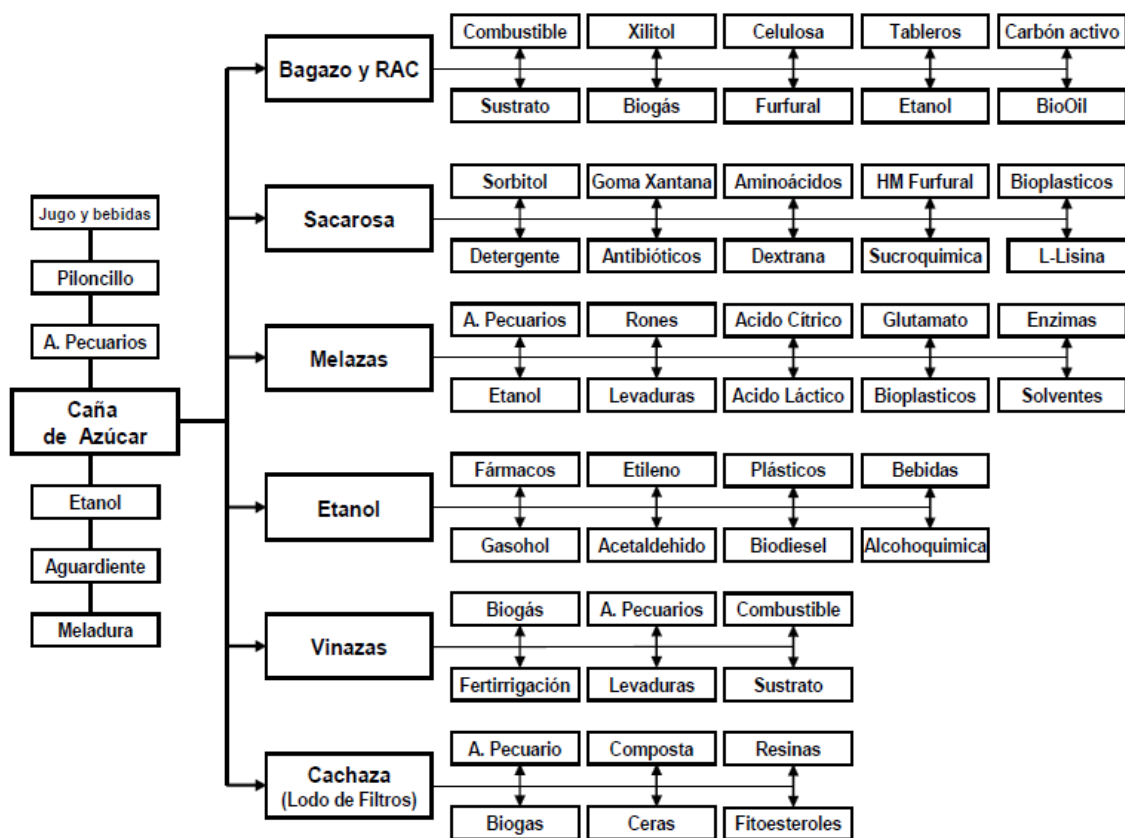


Figura 9. Coproductos y productos finales derivados de la caña de azúcar, clase 2 y 3. Fuente: Aguilar-Rivera, et al, 2012.

Desde un punto de vista del campo cañero, es necesario que los incentivos provengan de su comprador y proveedor principal: el ingenio. Dado un sistema de monopsonio, en el que sólo existe un comprador en el mercado –en nuestro caso, en la región e intencionalmente uno cerca del otro-, debe de ser uno con el otro los incentivos para el mejoramiento del producto y agregado al valor de los coproductos y subproductos finales.

De tal manera que, la reducción de costos de producción debe de presentarse, pero no se logrará si no se invierte lo suficiente en el caso en cuestión, además de

atender las problemáticas sociales (envejecimiento, organización y violencia) y el mejoramiento de la organización local, más los aspectos macroeconómicos como el sistema periférico con el que opera bajo productos básicos baratos, ganancias de exportación y tasas de ganancias frágiles en el que está México (Ibid).

En un estudio sobre el rendimiento del etanol, realizado por García (et al, 2011) donde los principales consumos de energía fósil se usaron para la producción de fertilizantes, gasolina para la maquinaria de las cosechadoras, el uso de aceite combustible para la fase industrial y el diésel en los camiones de transporte. Se llegó a una conclusión en el que los ratios de energía usados en el sector cañero en México, podría mejorar mediante la eficiencia de producción de fertilizantes (orgánicos), limitar el consumo de combustible sustituyéndose por el uso de bagazo para la generación de energía en la fase industrial, un aumento en la eficiencia del sistema de transporte y compactando las áreas de caña de azúcar, es decir, ya no expandir los cultivos, sino intensificar los suelos que ya están destinados para el monocultivo.

En primer lugar, la variable de impacto sustancial en las emisiones GEI, fue la fabricación de fertilizantes, representando entre un 37 y un 46% de las emisiones GEI del 100% que representa toda la actividad de producción de la caña (estos valores corresponden a las emisiones de N₂O durante la fabricación de fertilizantes). En segundo lugar, la variable de mayor impacto en generación de emisiones GEI, es la quema de campos, representa desde el 29% al 35% de las emisiones con la liberación de CH₄ y N₂O (considerando que hasta el 95% de los cañaverales son quemados en el país), mientras que en Brasil, el 69% de las superficie de cañaverales es quemada, según menciona el autor. Por último, el tercer factor de gran impacto, es el acto de fertilización, dado las propiedades de composición nitrogenada que tiene los fertilizantes, se libera entre el 11 y el 14% de emisiones GEI al momento de fertilizar los campos de acuerdo con la aplicación de la metodología del IPCC que usó el autor.

Dicho lo anterior, la cogeneración “en el ámbito legal, cuando varios productores exportan electricidad a través de una red de distribución común, se

dice que están cogenerando (esto es, en conjunto) potencia eléctrica o que están operando en modalidad de cogeneración.” (Aguilar, 2008), representa una gran área de oportunidad para la caña de azúcar por la obtención de energía eléctrica a partir del bagazo y de la energía térmica aprovechable de la misma fuente. El uso del bagazo en los ingenios para la producción de energía eléctrica, representa un gran porcentaje de reducción de emisiones GEI, además de reducir los costos de producción; al minimizar los costos se intensifican las ganancias y dibujar una producción sustentable, se crea una competitividad más permeable entre ingenios. Según la SAGARPA (2011), en el ciclo 2010/2011 “Los ingenios analizados durante la zafra 2010-2011 tuvieron un consumo de electricidad de 408.14 GWh. En 21 de los ingenios analizados (52.5% del total analizado) se cogenera electricidad, la cogeneración de electricidad ascendió a 213.49 GWh, lo que representa el 52.3% de la electricidad consumida.”. Se estima que por año, los 45 ingenios activos en el país generan 10.5 millones de toneladas de bagazo de los cuales casi el 100% es destinado para la generación de vapor en ingenios, produciendo aproximadamente el 85.5% del vapor utilizado para la generación de energía eléctrica en el sector cañero, esto es un poco más del 50% de electricidad consumida en todas las zonas cañeras del país.

La cogeneración tiene 3 principales categorías:

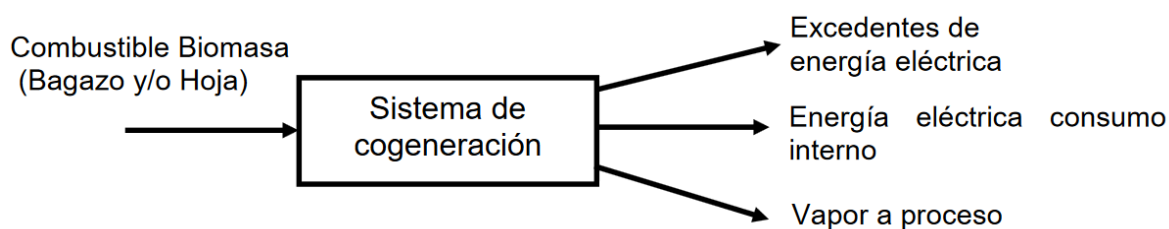


Figura 10. Volumen de control del sistema de cogeneración. Fuente: Sanz, 2014. “Análisis y optimización energética de una planta de cogeneración para la industria azucarera”.

La generación de energía a partir de la cogeneración, cubre con tres ciclos tecnológicos usados principalmente en la industria de azúcar y alcohol: el ciclo a vapor con turbina de contrapresión, el ciclo a vapor con turbina de condensación-extracción con altos parámetros de vapor y el ciclo combinado con gasificación del

bagazo, todos los anteriores, para la producción de excedente de electricidad (Silva, 2006).

En México, según un reporte realizado por la CONADESUCA (2013), la capacidad de cogeneración registrada en el 2012 por parte del sector cañero, fue sólo del 2% en comparación con otros sectores como el químico, el petrolero o el textil.

A pesar de que la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) no considera la energía de cogeneración como energía renovable, serán partícipes de los mismos beneficios establecidos en la ley por ser una energía a partir de una fuente renovable, que consisten en:

“i. Metodología para la determinación de los cargos correspondientes a los servicios de transmisión que preste el suministrador a los permisionarios con centrales de generación de energía eléctrica con fuente de energía renovable o cogeneración eficiente: Establece la metodología que deberá seguir la CFE al calcular los cargos correspondientes a solicitudes de servicios de transmisión considerando un esquema de trayectoria radial determinado por los niveles de tensión a utilizar. Estos cargos incluyen los costos del uso de infraestructura, pérdidas, servicios conexos y cargo fijo por administración del convenio. Dichos cargos son actualizados mensualmente por la CRE de acuerdo al anexo TB-RC del convenio de servicio de transmisión que firmen el permisionario y el suministrador.

ii. Contrato de interconexión para centrales de generación de energía eléctrica con energía renovable o cogeneración eficiente: El objeto del contrato es realizar y mantener, durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el SEN y la central de generación de energía eléctrica de más de 500 kW, así como establecer las condiciones generales para los actos jurídicos que celebren la CFE y el permisionario relacionados con la generación y, en su caso, con la transmisión a sus puntos de carga. Considera el llamado “Banco de Energía”, mecanismo de intercambio de energía que busca reducir el problema de la intermitencia en la generación de energía eléctrica, aprovechando al máximo los recursos energéticos disponibles, para después intercambiarla en aquellos periodos en los que sea

insuficiente la generación propia: la energía generada en cualquier periodo horario y no consumida por los usuarios puede ser “acumulada en forma virtual” por la CFE y “entregada” en otros periodos horarios análogos, en periodos distintos en días o meses diferentes.

iii. Convenio para el servicio de transmisión de energía eléctrica para fuente de energía: El objeto del convenio es establecer las bases, procedimientos, términos y condiciones para que la CFE proporcione al permisionario el servicio de transmisión, para transportar la energía eléctrica de éste, que le entregue en el punto de interconexión, hasta el (los) punto(s) de carga.

iv. Anexo F-RC del contrato de interconexión para centrales de generación de energía eléctrica con energía renovable o cogeneración eficiente: Mediante la potencia autoabastecida se reconoce, además de la energía aportada, la capacidad aportada por la central de cogeneración en las horas de mayor demanda del SEN. Con esto se disminuye la facturación eléctrica de las cargas del proyecto en cargos por demanda facturable del servicio público.” (CONADESUCA, 2013).

Otros beneficios sería mayor disponibilidad en el suministro eléctrico, aumento de competitividad económica de la mano de una disminución de costos de producción, entre otros.

Entre las condiciones para la producción de cogeneración está que quien determina y/ establece el inicio del proyecto es PEMEX, siendo líder en la producción energética en el país, establece que se debe de mantener una línea de aportación en un esquema de Capital de Riesgo del 50% de inversión requerida y a una apertura a la inversión extranjera en un 20%, esto es que dependiendo del mercado internacional, la inversión inicial no sobrepasará más allá de un límite de riesgo para PEMEX, además se deberá de integrar la participación extranjera en la inversión de cogeneración (Ibid).

El estado de San Luis Potosí trabaja como destilería autónoma con una capacidad de producción diaria de 600,000 litros de etanol aproximadamente que provienen

en primer lugar de los ingenios azucareros, representando un tipo de reserva energética según los términos de PEMEX (Ibid).

6. Discusión sobre el sector cañero para la producción sustentable de la caña

La diversificación del sector azucarero debe de empezar desde los diferentes tipos de caña que se manejan en el campo; existen algunos campos experimentales en el país se han dado a la tarea de innovar la calidad de la caña, para que en un futuro no muy lejano, la caña se presente con menos tallos, de tal manera que no sea necesaria su limpieza por medio de quema, de igual manera trabajan sobre la resistencia a plagas por medio de control biológico y con el grosos y calidad de la caña, en cuanto a nivel de sacarosa refiere²⁷.

Según Aguilar-Rivera (2009), en México, el menos del 1% de los campos cañeros, tiene un campo de experimentación en donde se intenta mejorar las especies de caña, pero con recursos económicos muy inciertos provenientes de CONADESUCA. A pesar de hacer hincapié en el apoyo a la innovación y transferencia de tecnologías (nuevas variedades de caña, manejo y control de plagas y enfermedades, tecnología en riego y fertilización) no existe una metodología clara para cuestiones de adaptación al cambio climático, uso eficiente del agua, uso de fertilizantes orgánicos o inclusión a los cañeros de pequeña escala –productores vulnerables-.

La práctica de quema a mediano y largo plazo presenta una repercusión no sólo en la calidad del aire, sino en la calidad del suelo: según Aguilar-Rivera, cada año se percibe una necesidad de mayor cantidad de fertilizantes o de expansión del monocultivo de caña, que es criticado por el hecho de que ocupa tierra fértil que pudiera ser para otros cultivos o para preservación del medio ambiente. Además implica la aceleración de deforestación y degradación de la tierra, agregando a ello la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por medio de los residuos

²⁷ Entrevista a Ing. Enrique Villegas, campo experimental Tamasopo, SLP, septiembre 2015.

del proceso del cultivo y durante la transformación de la caña (Aguilar-Rivera, et al., 2012).

En el caso del trabajo de investigación, desde un inicio dentro del marco teórico y antecedentes fue difícil encontrar una metodología que trabaje los costos ambientales por metano, ya que en su mayoría trabaja sólo con dióxido de carbono, ozono y $PM_{2.5}$ a PM_{10} , es decir, se trabaja con aquellas emisiones que repercutan de una manera visible y medible *sobre las personas*, y no tanto sobre las consecuencias sobre otras comunidades o sobre el ambiente en sí; más allá de la huella de carbono y los bonos de carbono, no hay referencia puntual de un costo por tonelada para otros gases de efecto invernadero.

Por ello, se considera que la parte importante de este trabajo se centra en la adaptación de un modelo existente para chimeneas (también aplicados para vehículos) a casos de áreas de contaminación por emisiones. Si bien es cierto que el modelo no resulta robusto por la cantidad de datos, se considera ser el primero que se acerca al cálculo de monetización para metano por cultivos.

Hay que cuestionar si la manera en poner precio a una tonelada de metano equivalente a una de CO_2 es la manera más acertada de lograr una monetización para el efecto de cambio climático. Con el Potencial de Calentamiento, se puede tener noción de cuál puede ser el impacto de otra emisión GEI que no sea CO_2 , pero la incertidumbre aún se centra en que aún es muy difuso calcular cuál es la valor que se asigna a cada persona, nación o actividad con respecto a la aportación al Cambio Climático, sobre todo en la calidad del aire, ya que no se puede tener control sobre la dirección y dispersión del viento. Además, el marco legislativo maneja “fuente fija” de gases GEI englobando chimeneas y áreas agrícolas, pero al momento del cálculo, la metodología se reduce sólo a chimeneas y a vehículos, es decir, que no existe una metodología puntual que calcule un impacto o una función exposición-respuesta para un área como fuente de contaminación por gases, existe contaminantes para suelo y agua, pero difícilmente existe referencia para contaminantes en atmósfera.

Para poder realizar un costo, las concentraciones de gases deben de provocar un daño a la salud que sea visible y medible que resulta costoso y tardado; el tiempo y el costo limitó el trabajo de la investigación, por lo que se decidió realizar una adaptación *teórica* del modelo. Sin embargo, en los casos en que la concentración de gases sea una dosis por debajo de los límites pero que permanezca constante en un periodo largo -que no es visible en la salud humana-, puede resultar más peligroso ya que el daño es acumulable pero no visible.

Para un mejor análisis de la relación que existe el RR con el nivel de mortalidad o del impacto sobre la salud de la población se debe de tener acceso a los datos del número de casos de mortalidad por problemas respiratorios y del número de casos de problemas a la salud causados directamente por la producción de caña (quemaduras, bronquitis, lesiones, entre otros), así como el monitoreo de dispersión y concentración de metano durante un periodo completo de cultivo de caña. Por las limitaciones propias del software así como de financiamiento y tiempo, no se pudo realizar la recolección de dichos datos.

Hay que recordar que, en caso de empezar un impuesto ambiental (o cuota), sea mínima o máxima, el monto total representa un pago hacia la comunidad del AGEB 203 por estar expuestos a un daño. Los cañeros son quienes ejecutan las actividades de emisiones de metano a ésta población y por lo tanto, son ellos quienes tendrían que dividir el monto total entre todos los cañeros activos. Además el aumento del costo representa un aumento del 19.54%, en este trabajo sólo se está llegando a un resultado por costo de concentración de metano; haría falta hacer otros cálculos para dióxido de carbono, ozono, partículas suspendidas, óxido nitroso y hasta dioxinas, registrando el número de casos por enfermedades y casos de mortalidad relacionados con problemas respiratorios y realizar una correlación entre las variables para determinar la relación que existe entre ellas.

Otro punto para aclarar es que no todos los cañeros son homogéneos, unos tienen menos de 5 hectáreas y existen otros con más de 10, por lo tanto, no sería correcto generalizar una cuota fija de externalidad negativa a todos de manera igual.

En base a lo anterior, una multa no es una herramienta factible para la práctica de quema, se debe de usar el impuesto de manera inversa, es decir, no como un cobro, sino como un costo de incentivo aplicable a proyectos como los Bonos de Carbono, que impulsen la práctica de no quema y al mismo tiempo de mitigación de emisiones GEI.

En todo caso, las NOM's pudieran profundizar en los permisos y certificados de personal para inicio de quema a cielo abierto para observar si no existen irregularidades. Pero dado el análisis documental de las NOM's encargadas de los incendios, es muy permeable el permiso para que el sector cañero inicie un fuego.

Entre los resultados del monitoreo de dispersión y presencia de metano sobre la concentración urbana de El Naranjo, se encontró que existe una contradicción entre los horarios permitidos de quema según las NOM's analizadas y la práctica real de incendios, es decir, que la quema se realiza fuera de los horarios permitidos y no existe una regulación de ello ni por parte de las Comisiones ni de los Ingenios y autoridades correspondientes. De igual manera, es difícil tener seguridad de si el personal que inicia y controla los incendios, poseen de la capacitación previa y permiso correspondiente para realizar incendios a nivel de suelo, esa es otra tarea que debe de cubrir las autoridades y que no queda muy claro en el caso del periodo de zafra en el área de estudio.

Por otro lado, otra alternativa para el caso de estudio es incentivar la producción orgánica y el comercio justo. Pero algunos casos nacionales como en Michoacán y Puebla, señalan que los costos de producción son muy elevados y todavía se necesita informar a los consumidores en diferenciar los conceptos, ya que hablar de comercio justo no es necesariamente siempre estar comprando productos orgánicos; en el caso de la caña existe ese dilema: cuando se habla de caña orgánica, los costos son muy altos y a pesar de no realizarse una quema previa antes de la cosecha, la mano de obra para la limpieza, cosecha y transporte, es un trabajo de sumo cansancio. Por otro lado, con una caña no orgánica se tiene la modificación de esta para que al momento de madurez, no contenga mucho material "residuo" (hojas y tallos) y el material total que se quema sea menor, por

lo tanto, menores las emisiones y concentraciones, pero entra en discusión ética ya que se tendría que producir un producto transgénico.

Además con la depreciación de los precios del azúcar, derivados por la disminución de la demanda de azúcar gracias a la competencia de la JMAF y los “No Calóricos”, el panorama de la producción de caña, debe enfrentarse a nuevos horizontes en otras áreas que no son propias del sector de alimentos para cubrir las oportunidades, sea el caso del sector energético y medio ambiente, tal como lo menciona Aguilar-Rivera (2009): *“El propósito de cualquier programa de diversificación de las zonas cañeras debe promover la transformación productiva y el desarrollo sostenible con cuatro líneas principales 1) Agricultura cañera sostenible, 2) Ingenio diversificado o multipropósito, 3) uso integral de la biomasa cañera y 4) desarrollo regional.”* Todos estos puntos deben de ser los nuevos incentivos para la inversión, reducción de costos de producción y la diversificación dentro del sector cañero.

Por la antigüedad que tiene la producción de la caña de azúcar en el país, es evidente que la coordinación de las diferentes dimensiones (económico, social, ambiental y político) se involucran de manera directa o indirecta en las decisiones y situación actual de la demanda y oferta de la caña, justo como se muestra a continuación:



Figura 11. Áreas dimensionales de la dinámica de la caña de azúcar en México.

Las dimensiones que tienen relación con la producción de caña, engloba una gran dinámica tanto a nivel regional, nacional como internacional en las diferentes dimensiones: comunidades completas dependen económicamente de la producción de caña de azúcar, además del enorme sector de alimentos y bebidas que también dependen de los derivados de la caña. Además, el azúcar representa un alimento básico dentro de los 300 productos que conforman la canasta básica en el país, con la emergencia de producción de energías limpias, la caña de azúcar representa una gran oportunidad de diversidad con la generación de etanol y bagazo. Por lo tanto, representa una fuente importante de energía renovable en un escenario sustentable que se demanda en día.

Algunas preguntas que quedan al aire son, si la manera de asignación del precio a la tonelada de CO₂ es de manera coherente y justa, ¿Será coherente que el IPCC considere solo a la caña de azúcar como referente de “quema de residuos agrícolas”? Ya que el costo ambiental por quema de caña de azúcar no es elevado, ¿es correcto cobrar ese impuesto? ¿Se pagaría directo a los afectados?

¿Quién se convierte en el responsable del cobro de esta multa? El hecho de que monetariamente, el costo ambiental no es del todo de gran impacto, no justifica concluir si la práctica de quema es necesaria o buena para la producción de caña de azúcar. Hasta ahora, sólo se tiene conocimiento de las consecuencias que causa el metano a la atmósfera, pero la investigación al sólo concentrarse en la actividad de cultivo de caña, no tiene información sobre otros impactos en otras comunidades de biota.

7. Conclusiones y trabajos futuros

El sistema de la agroindustria azucarera en México y de las regiones cañeras, es complejo; ni los tomadores de decisión, ni las instituciones ni las empresas privadas han adquirido esta visión. La caña de azúcar al ser uno de los cultivos más importantes del país y de mucha antigüedad, es difícil mencionar que se trate de una producción poco rentable, por el contrario, es una materia prima que tiene gran capacidad de aprovechamiento.

A pesar de lo anterior, el principal derivado de la caña, el azúcar, ha empezado a entrar en declive por los malos atributos que se le han otorgado en relación con problemas de salud, a raíz de ello, otros endulzantes hacen difícil la competencia dentro del mercado del azúcar. Por consiguiente, es importante incentivar los derivados de la caña como el bagazo, etanol y otros conocidos como melaza y alcohol. Dado que la producción de derivados depende directamente de la capacidad productiva del campo y viceversa, es necesario que la eficiencia en el campo crezca o se mantenga a largo plazo.

Las prácticas de quema de la caña de azúcar pueden repercutir a largo plazo en el estado del suelo, haciéndolo menos productivo y por efecto el productor deberá invertir mayores cantidades de insumos año con año (Aguilar-Rivera, 2014).

Existe una gran oportunidad por medio de la intervención gubernamental a través de los incentivos de cosecha en verde: programas como los PSA (Pagos por Servicios Ambientales) por parte de la CONADE permite considerar la protección

principalmente a bosques, la caña con cosecha en verde asegura una mejor fertilización del suelo, por lo que ya no sería necesaria la expansión de cultivos.

La caña tiene alta capacidad de fijar CO₂ por lo que debe de ser considerado como cultivos que pudieran aplicar a proyectos “Sumideros de Carbono”; las NAMAs sólo están considerando las emisiones por parte de los ingenios, pero es mejor si se considera la actividad en conjunto, es decir, incluyendo al campo, ya que la capacidad productiva de los mismos, por lo tanto, si el ingenio asegura la reducción de las emisiones en el campo, podría ser recompensada monetariamente o con stock tecnológico y al productor por ser remunerado mejor por una entrega de caña sin quema, de esta manera, se da una relación ganar-ganar.

Después del análisis documental de las reglas y leyes, una propuesta puntual sería la creación de una nueva NOM dedicada particularmente a los incendios que se dan en cañaverales y que se diseñe en coordinación con la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar de tal manera que:

- Se tenga distinción de los tipos de incendios que se realizan, ya que la NOM-015-SAGARPA/SEMARNAT no distingue entre incendios de desechos urbanos, desechos agrícolas, sistema de R-T-Q.
- Se tenga claridad en la capacitación y extensión de permisos en el personal encargado de inicio y control de incendios.
- Queden establecidos de manera explícita los casos de cosecha en verde y cosecha con quema, para que se respete la discriminación de precio entre los productos al momento de entrega en batey.

Recordando igualmente que San Luis Potosí es el segundo estado con mayor eficiencia productiva a nivel nacional, y que la producción de caña del Naranja representa casi el 30% del total de la Huasteca potosina, promover un proyecto que financie tan sólo la mitad de 560,743.68 dólares (costo social) podría beneficiar a más zonas cañeras de la zona de la Huasteca por medio de inversión en más cosechadoras que eviten la quema de caña. Al reducir los incendios, se

podiera evitar las emisiones de metano que no son de fuente natural, es decir, que se estaría reduciendo las emisiones que provienen de la quema con tal. Por ello es importante conocer cuál es el proyecto que mejor se adapta a la situación de mitigación de metano: NAMAs, Bonos de Carbono pudieran ser las más acertadas en ello por medio de la promoción de las CER, antigüedad y facilidad de participación, así como por el hecho de ser un mercado internacional.

Por otro lado, existen nuevos programas de apoyo por parte de PROAGRO que tienen alcances de diferentes categorías según la escala productiva de los cañeros y sus necesidades, por ejemplo, existe apoyo de hasta 70,000 pesos para productores como más de 15 ha para la compra de maquinaria o descuentos de hasta el 50%, también existen apoyos de equipos tecnológicos e incentivos para los gastos de insumos y sistema de riego; en la página oficial de CONADESUCA - www.conadesuca.gob.mx/ -se pueden encontrar los lineamientos de participación.

Es necesaria la continuación de los trabajos en materia de las externalidades negativas, en éste trabajo sólo se han abarcado las externalidades por concentraciones de metano (contaminación a la atmósfera). En este trabajo el objetivo se centró en la adaptación de un modelo dedicado a la estimación monetaria de las externalidades negativas derivadas de un área de contaminación: cultivos. A partir de este modelo, se recomienda reproducir el método para otro caso en el que sea permitido agregar más datos de los que aquí se recogieron, de igual manera, experimentar si el modelo es apto para otros cultivos que usen el fuego como herramienta de manejo dentro de su proceso de producción.

Del mismo modo, se recomienda realizar posteriormente análisis sobre la contaminación en cuerpos de agua y puntualizar los efectos de la quema de caña en las propiedades de suelo. Trabajos como de David Flores-Jiménez y Andrea Giraldo del programa PMPCA por la UASLP han empezado con éste tipo de investigaciones, pero de los cuales se pueden derivar trabajos futuros para avanzar en los métodos y programas necesarios para lograr un escenario sustentable para la caña de azúcar.

Después del análisis económico, la aplicación de un impuesto sobre los productores de caña que cubra el costo ambiental no es recomendable, ya que a pesar de ser estos quienes realizan los incendios, también representan la principal actividad económica de la región: trabajadores en ingenio, comercio local, cortadores, choferes, etc. Es por ello que la propuesta del cambio paulatino de una cosecha con quema a una cosecha en verde debe de considerar también los efectos sociales que pudieran producir, por ejemplo, la desocupación de clase obrera que opera como cortadores.

Por lo anterior, se necesita considerar estudios locales o más puntuales para el mediano plazo, y una mayor racionalidad de las inversiones de capital en campo y en sus productos. De tal manera que para garantizar la competitividad de la industria azucarera mexicana se requerirá de reformas políticas e inversiones con objetivos claros y la reorganización social así como la renovación de la cadena productiva de la caña de azúcar para aumentar el valor agregado de la caña y sus derivados (Aguilar-Rivera, et al, 2009).

Por parte de la cultura de “consumidor responsable”, se necesita darle la información necesaria de la composición de los productos que se compran, así como la diferencia entre los mismos, tal y como menciona Doug Cabtree (Ota.com, 2012):

“Como industria que no hemos hecho un gran trabajo explicando a los compradores lo que significa ser orgánica y los beneficios de la orgánica. Como resultado, los consumidores siguen confundidos por la diferencia entre los productos orgánicos, "todo natural" y no OMG certificados”, dijo Nicole Dawes, fundador y CEO de bocadillos tarde orgánicos de julio (...) La necesidad de una investigación más orgánico, y un mecanismo de financiación para financiarlo, es enorme. La investigación de la cría de semillas orgánicas se muere por los fondos, al igual que cualquier investigación a largo plazo los sistemas de cultivo orgánico”

Dentro del sector cañero existe una gran capacidad de rentabilidad y producción, por el simple hecho de la importancia histórica y cultural que tiene el azúcar derivado de la caña y del alcance de diversificación que se le ha dado a la planta:

naturalmente al ser humano ha tenido fascinación por el sabor dulce (Mintz, 1985). El azúcar no ha perdido su lugar cualitativo en los paladares humanos y en el acto más básico del humano: la alimentación y con ello la satisfacción de sus gustos y preferencias; está fuertemente relacionado con la manera de disfrutar la vida misma, como Mintz (1985) asegura “La buena vida, la vida rica, la vida plena... era la vida dulce.” La introducción de la caña desde principios de 1800 ha transformado no sólo el paisaje y el conocimiento de la producción agrícola, sino perspectivas completas en diferentes regiones del continente en el que se ha introducido en las costumbres y tradiciones de muchas de éstas. Por ello, la importancia de la caña de azúcar rebasa las perspectivas de quienes se dedican a la investigación y producción de ella.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, O. 2008. ¿Qué es la cogeneración? Primera Parte. Instituto Tecnológico de Monterrey (ITESM), Campus Estado de México, DF. http://www.energia.org.mx.php521.dfw12.websitetestlink.com/wpcontent/uploads/2011/06/Que_es_Cogeneracion_I_v01.pdf
- Aguilar-Rivera, N, Galindo, G.M, Fortanelli, J.M., y Contreras, C.S. 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustrial azucarera en México? *GCG, Georgetown University*, vol. 9, no. 1, ISSN: 1988-7116, pp. 62.
- Aguilar-Rivera, N. 2010. La caña de azúcar y sus derivados en la Huasteca San Luis Potosí, México. *Diálogos Revista Eléctrica de Historia*, vol. 11, no. 1, feb-ago., pp. 81-110. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca.
- Aguilar-Rivera, N. 2011. “Competitividad de la Agroindustrial azucarera de la huasteca México”. Tesis del Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Aguilar-Rivera, N. 2011. Ficha Técnica del cultivo de caña de azúcar. SIVICAÑA, SAGARPA 2009-2015. Gobierno del estado de San Luis Potosí, México.
- Aguilar-Rivera, N., María Guadalupe Galindo, Javier Fortanelli-Martínez. 2012. Evaluación agroindustrial del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) mediante imágenes SPOT 5 HVR en la Huasteca México. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 111, 64-74.
- Aguilar-Rivera, N. Agustín Herrera-Solano, Vidal Enríquez-Ruvalcaba, Daniel Arturo Rodríguez-Lagunes, Adolfo Castillo-Moran. 2014. Multidisciplinary Approaches for Analysis of Socio-Economic and Ecological Constraints for Diversification Projects and Sugarcane Biorefineries (pp. 193-236) Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Xalapa Enríquez, México.

- Aguilera, F., Vicent Alcantará. 1994. "De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica", ICARIA: FUHEM, Centro de investigación para la paz, Madrid.
- Alberta. 2004. Methane Safety: Agriculture and Forestry. Link: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/agdex9038](http://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/agdex9038) [October 2015].
- Algara-Siller, M. David Flores, Cecilia Barrera. 2013. Reporte técnico inventario de emisiones a la atmósfera de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) generados por actividades agropecuarias en el estado de San Luis Potosí. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- ASERCA. 2004. Plan rector del sistema producto caña de azúcar http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/PRector/24_SLP/AG_CanaAzucar.pdf
- Cabrini, S, Carlos, Calcaterra, Daniel Lema. 2013. Costos Ambientales y Eficiencia Productiva en la Producción Agraria del Partido del Pergamino, *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. Área de Economía y Sociología del INTA Pergamino, Vol. 20: 27-43. Argentina.
- Castillo, E. 2015. Sistema de caña de azúcar. Curso de Ecología de la producción de cosechas, UASLP, México.
- Castro Bonaño, J.M. 2009. Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/tesis/jmc/
- Cengicaña. 2015. Sugarcane Ripening and Sugarcane Flowering and their Management Sugarcane Ripening. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala.
- CEPAL. 2002. Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada. PNUMA-Fondo Monetario Internacional, Nueva York.

- CEPAL. 2008. Análisis económico de externalidades ambientales: guía para decisores. German Agency for Technical Cooperation, Nueva York.
- CEPAL. 2008. Bioetanol de caña de azúcar: una energía para el desarrollo sostenible. Resumen Ejecutivo. FAO, BNDES, CGEE.
- Choy, E. 2013. Recursos Naturales y la Contabilidad Ambiental. QUIPUKAMAYOC, *Revista de la Facultad de Ciencias Contables*, vol. 21, no. 40, pp. 27-33. Lima Perú. ISSN: 1609-8196 (versión electrónica): <file:///E:/Downloads/6307-22044-1-PB.pdf>.
- CONADESUCA, 2013. Propuesta Para la Inclusión de la Producción de Etanol Anhidro Como Alternativa al Campo Cañero Mexicano en el Programa Nacional de la Agroindustria Azucarera. SENER, México.
- CONADESUCA, 2015. Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar, zafras 2008/09 - 2014/15. SAGARPA. Recuperado de: <http://www.conadesuca.gob.mx/documentos%20de%20interes/Informe%20Estadistico%20CONADESUCA%2014-15%20completo.pdf>
- Derbéz, L. 2011. Reflexiones sobre la medición del progreso y bienestar. Realidad, datos y espacio, *Revista internacional de estadística y geografía*, vol. 2, no. 1, ene-feb., pp. 4-17. INEGI, UASLP, México.
- Díaz, L. y Portocarrero E. 2002. Manual de Producción de Caña (*Saccharum officinarum* L.). Zamorano, Carrera de Ciencia y producción agropecuaria, Honduras.
- Elena, J., Fernando Rodríguez López, María José Sánchez García. 2002. Impuestos pigouvianos vs. suplementos ambientales. Análisis teórico y simulación para el sector eléctrico español. Universidad de Salamanca.
- Finanzas Carbono. 2016. Acciones de mitigación apropiadas a cada país: NAMAs, Nuevos Mecanismos de Mitigación. Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe. <http://finanzascarbono.org/nuevos->

[mecanismos-de-mitigacion/acciones-de-mitigacion-apropiadas-a-cada-pais-namas/](#)

Flores-Jiménez, D. 2016. “Estimación de las emisiones y modelado del transporte de metano en la atmósfera generado por la quema de caña de azúcar en México”. Tesis del Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Flores-Serrano, J. 2016. La relación C/N. FUNDESYRAM, Biblioteca Agroecológica. El Salvador, recuperado de: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3948>

FND, 2014. Panorama de la caña de azúcar. Dirección General adjunta de Planeación Estratégica, análisis sectorial y tecnologías de la información. SHCP, México.

Fuster, A. 2006. Alfred Marshall, curso de Historia del Pensamiento económico, Universidad de les Illes Balears, CE, virtual: http://www.uib.cat/depart/deaweb/webpersonal/pepaquilo/archivos/2212PepAguiloDic09/COURSE_8622311_M/my_files/quintacarpeta/documentomars_hall.html

García-Almeida, J., Gracia María Casado-Fdez, J. García Alemán. 2013. Una visión global y actual de los edulcorantes. Aspectos de regulación. *Nutrición Hospitalaria*, vol.28 supl.4 versión impresa ISSN 0212-1611, Madrid.

García, C., Alfredo Fuentes, Anna Hennecke, Enrique Riegelhaupt, Fabio Manzini, Omar Masera. 2011. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *Applied Energy*, vol. 88, ISSN: 2088-2097.

Gómez-Merino, F., Libia Trejo-Téllez, Victoriano Morales-Ramos, Peter Ladewing. 2014. Necesidades de Innovación en la producción de caña de azúcar. *Agroproductividad*, ISSN-0188-7394, año 7, vol. 7, no. 2, marzo-abril, 2014. Conacyt, México.

Global Organics. 2016. Final FDA Guidance on ECJ. E.U.A, recuperado:
<http://www.global-organics.com/post.php?s=2016-06-03-final-fda-guidance-on-ecj>

GLOOBAL, 2002. El concepto de externalidad, Organización Internacional de Ayuda Comunitaria, GOAL:
http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif12.htm

Hernández-Cázares, A.S. 2014. La agroindustria de la caña de azúcar en México. *Agroproductividad* ISSN-0188-7394, año 7, vol. 7, no. 2, marzo-abril, 2014. Conacyt, México.

INECC. 2010. El sector privado y el cambio climático: el mercado de bonos de carbono. SEMARNAT, PNUD. Última actualización [08/06/2010].
<http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html>

INECC. 2014. México es el primer país en recibir fondos NAMA para desarrollo sustentable de vivienda nueva. SEMARNAT, DF, México.

IPCC. 2013. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. UNEP. Recuperado de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/home/wetlands.html>

Jardel-Peláez, EJ. 2011. El manejo del fuego en México y su marco normativo: Un análisis de la Norma Oficial Mexicana de Uso del Fuego. Universidad de Guadalajara-JIRA-FMCN, Nota Técnica. Autlán, Jalisco.

Malman, S. 1994. Los sectores de recursos naturales en la contabilidad nacional del Chile, Cuentas Nacionales (II). *Ambiente Hoy- Ambiente y Desarrollo*. Recuperado de:
http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/1994/2_Malman_II.pdf.

Mendezcarlo, V., Armando Medina, Gloria Becerra. 2010. Las teorías de Pigou y Coase, base para la propuesta de gestión e innovación de un impuesto

ambiental en México. *Revista Académica de Investigación TLATEMOANI*, no. 2. Universidad de San Pablo-UASLP: <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/02/siq.pdf>

Morales, J. 2011. "Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación", Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana.

Mugica, V. 2012. Emisiones de carbono negro en partículas atmosféricas provenientes de la quema de caña de azúcar, SEMARNAT, México.

Muñozcano, L. 2014. NAMAs (Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación) en México. Mesa transversal de vivienda sustentable, SEMARNAT.

Naredo, J. 2006. Naturaleza y tratamiento económico del problema ambiental, Siglo XXI, Madrid.

Native Productos da Naturaleza. (s.f). *Nosso Mundo: Mundo Orgánico*. Brasil. Recuperado el 28 de junio del 2016 de: <http://www.nativealimentos.com.br/>

Octaviano, C. 2011. Análisis General de las externalidades ambientales derivadas de la utilización de combustibles fósiles en la industria eléctrica centroamericana. CEPAL, Sede Subregional en México.

Olivo, G. 2013. "Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector energía, balance estatal energía y estrategias de mitigación", Facultad de ciencias químicas, ingeniería y medicina, Programa Multidisciplinario en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

ONU. 2011. Copenhagen Accord; National Mitigation Actions. Apéndice 2. Recuperado de: http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/copenhagen_accord/application/pdf/mexicocphaccord_app2.pdf

- Organización Internacional del Azúcar. 2012. Perspectivas de producción de azúcar y de etanol en Brasil. ISO-MECAS, Comité de Evaluación de Mercado, Consumo y Estadística, Londres.
- Osorio, G. 2007. En la Producción de Caña y Panela. Buenas prácticas agrícolas -BPA- y Buenas prácticas de manufactura -BPM-, Manual Técnico. Corpoica, FAO. Colombia.
- Ota. 2012. *Organic Check-off*. Organic trade association, U.S. Recuperado de: <https://ota.com/resources/organic-check>
- Paraguay Orgánico. 2016. Caña de azúcar. Paraguay. Recuperado de: <http://www.paraguayorganico.org.py/cana-de-azucar/>
- Paz, Raúl Gustavo. 1999. Heterogeneidad. Pluriactividad y procesos de transformación en campesinos cañeros. Comunidad de bajo grande,- Tucumán - Argentina. *Agro sur*, jul. 1999, vol.27, no.1, p.72-84. ISSN 0304-8802
- PNUMA, 2011. Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Síntesis para los encargados de la formulación de políticas. Recuperado de: www.unep.org/greeneconomy
- PRONAC. 2014. Diario Oficial de la Federación. PRONAC 2014-2018. Gobierno Federal, México.
- Ramos, R. 2001. "Modelo de Evaluación de la Competitividad Internacional: Una Aplicación Empírica al Caso de las Islas Canarias", Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Reyes, S., Horacio Crespo. 1988. Historia del Azúcar en México, volumen I. Azúcar S.A de C.V, Fondo de Cultura Económica, México.

- Ríos, C. y Julián Fernando Rincón. 2014. "Cálculo de la huella de carbono del proceso de cosecha de caña de azúcar". Facultad de ingeniería, Programa Ingeniería Industrial. Universidad ICESI, Santiago de Cali.
- Rocasolano, P. 2004. El teorema de Coase y sus implicaciones según "el problema del coste social", Economía y Medio Ambiente, México.
- Romero, G. 2012. Sustentabilidad de la agroindustria de la caña de azúcar. CONADESUCA, México.
- SAGARPA. 2012. Importancia de la agroindustria de la caña de azúcar. México. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Ca%C3%B1a.pdf>
- SAGARPA-CONADESUCA. 2015. Balance Nacional de azúcar mensual zafra 2014/2015. Última actualización febrero, 2015.
- Salazar, A. 2010. México ante el cambio climático: Resolviendo necesidades locales con impactos globales. Documento de Trabajo, Unión de Científicos con la Soledad, A.C. pp. 26. UNAM: <http://www.oikos.unam.mx/Bioenergia/images/PDF/CC/CC-General/DossierUCCS-CC10A.pdf>
- Samuelson, Paul S. y William D. Nordhaus. 1998. Economía, decimoquinta edición, España: McGrawHill.
- Sanz, D. 2014. "Análisis y optimización exergética de una planta de cogeneración para la industria azucarera". Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad Ingeniería Mecánica. Maestría En Ingeniería Mecánica Pereira, Colombia.
- Secretaría de Desarrollo Económico. 2014. Estado de San Luis Potosí. Gobierno Estatal de San Luis Potosí.
- SEDATU. 2011. Auge y crisis agropecuaria. Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Gobierno Federal, México.

- SE. 2012. Análisis de la Situación Económica, Tecnológica y de Política Comercial del sector de Endulcorantes en México. Dirección General de Industrias Básicas. México.
- SEGAM, 2014. Caracterización Ambiental, descripción del estado de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos de cada UGA y sus articulaciones funcionales en unidades paisajísticas. UASLP-Agenda Ambiental, San Luis Potosí.
- SEMARNAT, 2012. Huella Ecológica, datos y rostros. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. ISBN: 978-607-8246-18-2. México, DF.
- SENER. 2009. Energías renovables para el Desarrollo Sustentable en México. Gobierno Federal, México.
- Sentíes-Herrera, Fernando Carlos Gómez-Merino, Apolonio Valdez-Balero, Hilda Victoria Silva-Rojas, Libia Iris Trejo-Téllez. 2014. The agro-industrial sugarcane system in Mexico: current status challenge and opportunities. *Journal of agricultural science*, vol. 6, no. 4. Canadian central of science and education.
- SIAP. 2013. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [en línea]. Versión 2015: Cierre de la producción agrícola por cultivo, Programa computacional. SAGARPA, México.
- Silva, E. 2006. Cogeneración y generación de electricidad em la industria azucarera. Nucleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída. UNIFEI-Brasil.
- Silva, J. 2011. Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada (SCAEI). Sustentabilidad y Desarrollo, Ciencias Ambientales y Ecológicas. Universidad de Lo Andes, Venezuela:
<http://sustentabilidadydesarrollo.com/tag/pib-verde/>

- Singelmann, P. 2003. La transformación política de México y los gremios cañeros del PRI. *Revista Mexicana de Sociología*, año 65, no. 1, pp. 117-152. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.
- Swaney, J. Martín Evers. 1989. The social cost concepts of K. William Kapp and Karl Polanyi. *Journal of Economic Issues*, vol. 23, no. 1, march, pp 7-33. Association for evolutionary economics: <http://www.jstor.org/stable/4226096>
- Thiele, H. 2010. “Balance de carbono en la industria azucarera”, Puntarenas, Costa Rica.
- Toledo, V. 2013. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones* no. 136, CIECO-UNAM, pp. 41-71, México.
- Torres, G. 2008. La Ley de Desarrollo Rural Sustentable y el campo mexicano. *Revista de Geografía Agrícola* VL-IS-40SN-0186-4394UR-. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75711534006ER>
- UN. 2015. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015, Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Septuagésimo período de sesiones, 15-16301 (S). Distrito General. Recuperado de: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>
- USAID-Paraguay. 2011. Caña de azúcar: Análisis de la cadena de valor en Concepción y Canindeyú. N° AID-526-A-10-00001, Programa Iniciativa Norte, Paraguay.
- Van der Ploeg, F. 2008. “Voracious transformation of a common natural resource into productive capital”. Department of economics, OxCarre, Oxford Center of the Analysis of Resource Rich Economies. University of Oxford, England.
- Velasco J. 2013. Brazilian sugarcane. AMARYS, Brasil. Recuperado de <http://www.eia.gov/biofuels/workshop/presentations/2013/pdf/presentation-08-020113.pdf>.

Vilaboa A.I., Barroso L.A. 2013. Contaminación ambiental por quema de caña de azúcar. Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz. Memorias de ponencias Think Green 2013: Crecimiento verde, retos y oportunidades para México.

Anexos

Anexo 1. Encuesta a cañeros

ENCUESTA APLICADA AL SECTOR CAÑERO EN CIUDAD VALLES

Indicaciones: Si la pregunta es de opción múltiple, escoja y marque la que usted considere. En caso de ser una pregunta abierta por favor responda de la manera más adecuada.

ASPECTOS SOCIECONÓMICOS & ECONÓMICOS

SOBRE LA SIEMBRA

¿Cuál es el total de hectáreas cosechadas en un periodo?

MENOS DE 5 HA

ENTRE 5 Y 15 HA

MÁS DE 15 HA

¿Paga renta por las tierras que trabaja?

SI

NO

Si contestó "sí" ¿Cuánto paga de renta?

¿Qué tipo de estructura maneja en su terreno y en qué porcentaje?

PLANTA _____%

SOCA _____%

RESOCA _____%

Mencione el nombre del tipo de caña que maneja y marque a qué categoría cíclica pertenece:

NOMBRE DEL TIPO DE CAÑA _____

Pertenece a:

TEMPRANA

MEDIANA

TARDÍA

¿Por qué siembra este tipo de caña?

¿Qué tipo de riego utiliza: de temporada, sistema industrial (por goteo, aspersión, avión), otro?

DE TEMPORADA

MECANIZADA (POR GOTEO, ASPERCIÓN, AVIÓN, etc.)

OTRO

¿Qué porcentaje tiene con riego?

Si contestó "INDUSTRIAL" ¿Cuánto es el gasto que realiza para el riego? (Costo promedio de bombeo por hora y cuál es **la potencia de la bomba**)

¿Cuál es la duración del riego cada vez que lo lleva a cabo?

¿Cuántas veces riega durante el ciclo de cultivo?

¿Cuánto es el monto monetario de inversión en promedio que realiza para la siembra de caña al inicio del ciclo? (Desde que prepara la tierra)

¿Cuánto monto monetario gasta en promedio en fertilizantes (por ha) por ciclo?

¿Qué tipo de fertilizante utiliza?

¿Utiliza cachaza o composta?

SI

NO

¿Qué cantidad por ha por ciclo?

¿Utiliza cala agrícola? SI NO

¿Qué cantidad utiliza?

¿Qué tipo de malezas tuvo en el ciclo?

¿Cuánto monto monetario gasta en promedio en herbicidas (por ha) cuánto utiliza?

¿Qué tipo de plagas tuvo este ciclo?

¿Cuánto monto monetario gasta en promedio en plaguicidas (por ha) cuánto utiliza?

¿Utiliza algún otro agroquímico? (madurador, enraizador, etc)

NO

SI

¿CUÁL? _____

¿Tiene algún otro gasto para la siembra aparte de los anteriores?

SI

NO

¿Aproximadamente cuánto es ese gasto?

SOBRE COSTOS DE COSECHA

¿La práctica de corte de cosecha es de manera?

MANUAL

MECANIZADA

MIXTO

¿Cuántos trabajadores ocupan por ha?

¿Cuántas horas trabajan al día durante la cosecha y en las labores culturales del cultivo?

¿Cuántas horas trabaja la alzadora o la cosechadora por ha?

En caso de ser corte MANUAL ¿Cuánto es su pago por realizar el corte por trabajador?

¿Cuántos son los litros de combustible que tiene que pagar para el corte y alza de la cosecha?

¿Cuánto monto monetario en promedio gasta en combustible para un periodo de siembra y cosecha? (precio por litro de combustible)

En promedio ¿Cuál es la producción ton/ha?

¿Toda su producción es destinada al ingenio o alguna porción es para comercio local?

TODA LA PRODUCCIÓN ES DESTINADA AL INGENIO

CIERTA PORCIÓN ES DESTINADA AL COMERCIO LOCAL (**TRAPICHE, SEMILLA O ALIMENTO DE GANADO**)

Considera que las ganancias mensuales por la siembra de caña son:

MALAS (SALGO DEBIENDO)

REGULARES (NI SOBRA, NI DEBO)

BUENAS (SI OBTENGO GANANCIAS)

SOBRE INGRESOS

¿Cuánto es el pago por tonelada de caña?

¿Su familia o usted directamente, reciben otro tipo de ingreso además de las ganancias que obtiene del cultivo de la caña?

NO

SI, ¿DE QUÉ TIPO? _____

¿Qué condiciones económicas se tendrían que presentar para cosechar en verde (sin quema)?

ASPECTOS INSTITUCIONALES

¿Pertenece a algún comité, confederación, institución o es un productor independiente?

INDEPENDIENTE
ORGANISMO

SI, SI PERTENEZCO A UN

¿A qué organismo pertenece?

Si respondió "Sí" ¿Cuánto es la cuota por pertenecer a dicho organismo?

¿Los beneficios de pertenecer a dicha organización son?

BUENOS (RECIBO CONSTANTE AYUDA Y ASESORAMIENTO, CONSIDERO NECESARIO PERTENECER)

REGULARES (CONSIDERO NECESARIO PERTENECER, PERO NO EXACTAMENTE EL APOYO QUE YO QUISIERA)

MALOS (NO CONSIDERO NECESARIO PERTENECER)

¿La siembra de caña es su actividad económica principal?

SI

NO

¿Cuál es la distancia que hay de su casa a sus parcelas?

¿Cuál es la distancia que hay de su parcela al ingenio?

¿Cuánto combustible usa?

¿Quién es su principal prestatario para la inversión del cultivo de la caña?

¿Cuánto es el monto máximo de préstamo que recibe de su prestatario? ¿Cuánto es el mínimo?

¿Para cuánto tiempo es el préstamo?

MENOS DE UN AÑO

UN AÑO

MÁS DE UN AÑO

¿Recibe asesoramiento de algún tipo?

SI

NO

¿Le cobran por el asesoramiento?

SI

NO

¿Cuál es su opinión con respecto a los programas de apoyo al campo?

MUY MALO

MALO

REGULAR

BUENO

MUY BUENO

¿Qué instituciones les brindan apoyo (Por ejemplo SAGARPA, CONAFOR, SEMARNAT, etc.)? Siga las instrucciones de abajo para responder esta pregunta.

Instrucciones: Para responder esta pregunta por favor enliste en la tabla de abajo las instituciones que le brinden apoyo. Después palomee que aspecto cubre el apoyo –puede palomear más de un aspecto. *Nota: Puede agregar más instituciones aunque se salga de la tabla pero no es necesario llenar toda la tabla si no lo requiere.*

| Instituciones | Aspectos | | |
|---------------|-----------|--------|-------------|
| | Económico | Social | Tecnológico |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

¿Considera que el apoyo que recibe es?

BUENO

REGULAR

MALO

¿Qué tipo de apoyo esperarías recibir de dichas instituciones para cosechar en verde (sin quema)?

¿Cuál ha sido el número de casos de daño a la salud por la quema de caña en este ciclo? (pulmonía, quemaduras, accidentes laborales)

ASPECTOS AMBIENTALES

¿Qué tipo de incentivos se requieren para que no sea necesaria la quema de la caña durante la zafra? Siga las instrucciones de abajo para responder esta pregunta.

Instrucciones: Marque con una “x” si está a favor o no a favor de los hechos que deberían de suceder para que se logre una cosecha sin quema.

| INCENTIVOS ECONÓMICOS | A FAVOR | NO A FAVOR |
|--|----------------|-------------------|
| El ingenio debería diferenciar el precio entre caña cosechada sin quema y caña quemada | | |
| Los préstamos que le otorgan para la siembra y cosecha deberían aumentar | | |
| Los préstamos deberían ser para un periodo mayor | | |
| El precio de los materiales que se usan para sembrar y cosechar debería bajar. SI CONTESTÓ "A FAVOR" ESPECIFIQUE CUAL MATERIAL SERÍA EL PRIMERO AL QUE LE BAJARÍA EL PRECIO (SÓLO UNO): | | |
| COMBUSTIBLE PLAGUICIDA SEMILLA AGUA | | |
| HERBICIDA FERTILIZANTE | | |
| PLAGUICIDA SEMILLA | | |
| MANO DE OBRA | | |
| El precio de la tonelada de caña debería basarse en el volumen de producción y no en el KARBE | | |
| OTRO INCENTIVO QUE CONSIDERE NECESARIO: | | |

| INCENTIVOS SOCIALES | A FAVOR | NO A FAVOR |
|---|----------------|-------------------|
| Las organizaciones de cañeros debería mejorar el apoyo y asesoramiento que ofrecen | | |
| Debería mejorar la organización que existe entre los cañeros | | |
| La comunidad debería involucrarse más en la toma de decisiones del cultivo de la caña | | |
| La cobertura del seguro social debería ser mayor y de mejor calidad | | |
| OTRO INCENTIVO QUE CONSIDERE NECESARIO: | | |

| INCENTIVOS POLÍTICOS | A FAVOR | NO A FAVOR |
|--|----------------|-------------------|
| El gobierno debería patrocinar maquinaria que se requiere para el cultivo y cosecha de la caña | | |
| Deberían de existir más programas de apoyo que impulsen la producción sustentable de la caña (es decir, sin agotar los recursos naturales como agua y nutrientes del suelo). | | |
| Las leyes y políticas relacionadas con la producción de caña | | |

| | | |
|---|--|--|
| deberían ser modificadas por medio de la participación de cañeros, para cubrir nuestras principales necesidades | | |
| Se necesita mayor participación por parte de los cañeros en las políticas municipales y estatales | | |
| El ingenio debería volver a ser parte de la propiedad federal y no privada | | |
| OTRO INCENTIVO QUE CONSIDERE NECESARIO: | | |

¿Qué especies de caña son las más adecuadas para practicar la cosecha en verde?

¿Se ha considerado sembrar caña de azúcar transgénica?

SI

NO

¿Por qué?

¿El suelo debería tener características diferentes a las que actualmente tiene?

¿De qué manera aprovecharían el residuo de la caña?

¿Se ha considerado sembrar caña de azúcar orgánica (es decir, sin utilizar productos químicos y plantas genéticamente modificadas)?

SI

NO

¿Por qué?

¿Qué tipo de suelo es el más adecuado para que pase la cosechadora?

- a) Plano sin piedra
- b) Plano con piedra
- c) Loma sin piedra
- d) Loma con piedra
- e) Cerro sin piedra
- f) Cerro con piedra

g) Otro

Anexo 2. Metodología IPCC para concentraciones de metano

Fragmento de Tesis doctoral de Dr. Flores-Jiménez

Emisión de CH₄=Total de carbono liberado×Relación de emisión para el CH₄ (12)

Tabla 19. Relaciones de emisión estándar aplicados en la quema de residuos agrícolas para distintos gases.

| Gas | Relaciones de emisión | |
|------------------|-----------------------|-------------|
| | Valores por default | Rangos |
| CH ₄ | 0.005 | 0.003-0.007 |
| CO | 0.06 | 0.04-0.08 |
| N ₂ O | 0.007 | 0.005-0.009 |
| NO _x | 0.121 | 0.094-0.148 |

Finalmente, las emisiones de CH₄ generadas por la quema del campo de residuos agrícolas depende de la emisión obtenida en la ecuación 12 y de la “relación de conversión” (Tabla 20) para dicho gas (que es el máximo factor de conversión para la generación del metano por unidad de carbono orgánico total consumido) (Ecuación 13).

Emisión CH₄ en campo= Emisión de CH₄×Relación de conversión para el CH₄ (13)

Tabla 20. Relaciones de conversión para distintos gases generados por la quema de residuos agrícolas.

| Gas | Relación de conversión |
|--|------------------------|
| Metano (CH ₄) | 16/12 |
| Monóxido de carbono (CO) | 28/12 |
| Óxido nitroso (N ₂ O) | 44/28 |
| Óxidos de nitrógeno (NO _x) | 46/14 |

Con respecto a las emisiones de N₂O también se requieren calcular la emisión de dicho gas (Ecuación 14) y su emisión en campo (Ecuación 15) considerando la relación de emisión y la relación de conversión (Tabla 14) respectivamente.

Emisión de N₂O=Total de carbono liberado×Relación de emisión para el N₂O
(14)

Emisión N₂O en campo=Emisión de N₂O×Relación de conversión para el N₂O
(15)

El cálculo de las emisiones de CO₂ se hará a partir del factor de conversión de C a CO₂ propuesto por la EPA (2004), el PICC (2000) y la Fundación Monetaria Internacional (IMF, 2000), el cual consiste en que 1 kg de C corresponde a 3.667 kg de CO₂ ($\lambda=3.667$) (De Figueiredo et al. 2010).

4.2 Metodología de emisiones de Seiler y Crutzen

Para calcular las emisiones a la atmósfera de CO₂ generado durante un incendio forestal y que se aplicará a la quema de caña de azúcar se debe conocer la masa total de vegetación quemada (M) (Ecuación 16).

$$M=A \times B \times E \quad (16)$$

donde A es el área quemada (Tablas 18 y 21), B es la cantidad de biomasa que se quema y E es la eficiencia de la quema, que se refiere a la cantidad de materia que realmente se quema (combustible) con respecto del total de biomasa por unidad de área (kilómetro cuadrado).

Para cultivos se propone usar un valor de eficiencia de 0.40 obtenido a partir de su cantidad de masa y tipo de cultivo (Seiler y Crutzen, 1980; Scholes et al. 1996; Levine, 2003), sin embargo para este proyecto se ocupará el valor de 0.29 que corresponde a la cantidad de biomasa que se puede quemar para las especies de caña cuya mayor área de cultivo abarcan en el país (MEX 69-290 y CP 72-2086) (Tabla 8).

Tabla 21. Área cosechada que se quema durante el periodo de la zafra por zona de abasto cañero. La numeración mostrada representa cada zona de abasto cañero en el mismo orden de la Tabla 18.

| No. | Superficie cosechada que se quema (%) | No. | Superficie cosechada que se quema (%) |
|-----|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|
| 1 | 97.20 | 30 | 94.99 |
| 2 | 94.13 | 31 | 91.17 |
| 3 | 90.00 | 32 | 77.26 |
| 4 | 80.60 | 33 | 86.66 |
| 5 | 96.46 | 34 | 80.00 |
| 6 | 97.52 | 35 | 88.54 |
| 7 | 90.00 | 36 | 92.79 |
| 8 | 90.00 | 37 | 96.00 |
| 9 | 93.37 | 38 | 99.20 |
| 10 | 99.06 | 39 | 96.75 |
| 11 | 98.11 | 40 | 99.16 |
| 12 | 90.00 | 41 | 100.00 |
| 13 | 90.00 | 42 | 98.10 |
| 14 | 85.93 | 43 | 95.81 |
| 15 | 90.00 | 44 | 94.65 |
| 16 | 55.16 | 45 | 0.00 |

| No. | Superficie cosechada que se quema (%) | No. | Superficie cosechada que se quema (%) |
|-----|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|
| 17 | 91.00 | 46 | 87.20 |
| 18 | 90.00 | 47 | 87.20 |
| 19 | 68.82 | 48 | 92.10 |
| 20 | 91.63 | 49 | 98.58 |
| 21 | 90.00 | 50 | 92.10 |
| 22 | 88.25 | 51 | 89.18 |
| 23 | 78.11 | 52 | 95.00 |
| 24 | 91.25 | 53 | 97.80 |
| 25 | 87.03 | 54 | 93.50 |
| 26 | 95.36 | 55 | 98.50 |
| 27 | 92.50 | 56 | 98.50 |
| 28 | 89.24 | 57 | 90.60 |
| 29 | 98.90 | | |

Posteriormente se debe conocer la masa de carbono liberado a la atmósfera ((C)) (Ecuación 17), el cual está en función del porcentaje de masa de carbono en la biomasa (C) (que es de 0.45 para vegetación tropical) y de la vegetación total quemada (Ecuación 16).

$$(C) = C \times M \quad (17)$$

La masa de CO₂ ($M(CO_2)$) liberada durante la quema (Ecuación 18) está en función del carbono liberado a la atmósfera ($M(C)$) y de la eficiencia en el proceso de combustión CE que es la fracción de carbono emitido como CO₂ respecto al total de carbono liberado durante el incendio. Para incendios en vegetación tropical se toma el valor de 0.90 (Levine 2003).

$$(CO_2) = CE \times (C) \quad (18)$$

A partir de este último resultado se puede conocer la masa liberada de otra especie por quema de residuos agrícolas. Entonces la emisión de CH₄ ((CH_4))

(Ecuación 19) se obtiene a partir de la masa de CO₂ liberada (Ecuación 18) y de la relación de emisión para el metano, que se refiere a la relación de producción del metano ((CH₄)) con respecto a la producción de dióxido de carbono durante el incendio. Para zonas tropicales se ocupa el valor de 0.32%.

$$(CH_4) = (CH_4) \times M(CO_2)$$