



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E
INGENIERÍA**

COMPARATIVO DE CADENAS DE SUMINISTRO CLÁSICA Y
SUSTENTABLE DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SUS
PRODUCTOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS
SUSTENTABLES

PRESENTA:

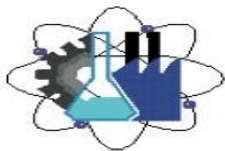
ING. IRVING ARELLANO MEJÍA

DIRECTORA: DRA. MARÍA DEL CARMEN TORRES
SALAZAR

CODIRECTORA: DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR

LUGAR: CUERNAVACA, MORELOS.

FECHA: MARZO 2026



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

Índice

Índice	1
Índice de tablas	3
Índice de figuras.	3
Introducción.....	5
1. Antecedentes.....	7
1.1 Cadena de suministro clásica de la caña de azúcar	7
1.2 Cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar	10
1.3 Análisis de ciclo de vida (ACV).....	11
2. Marco teórico.....	13
2.1 Cadena de suministro.....	13
2.2 Cadena de suministro sustentable.....	15
2.3 Análisis de ciclo de vida	16
3. Planteamiento del problema	17
4. Justificación	19
5. Hipótesis	19
6. Objetivos.....	19
6.1 Objetivo general	19
6.2 Objetivos específicos.....	19
7. Metodología.....	19
7.1 Estrategia experimental	19
7.2 Diseño experimental.....	20
7.2.1 Criterios de aceptación	20
7.2.2 Búsqueda de información	20
7.2.3 Temporalidad	21
7.2.4 Temática.....	21
7.2.5 Idioma.....	21
7.2.6 Revista indexada.....	21
7.2.7 Buscadores.....	21
7.3 Manejo de información.....	21

7.3.1. Análisis de la información.....	21
7.3.2 Clasificación y organización de la información	22
7.3.3 Resultados.....	22
7.4 Elaboración de cuadro comparativo	22
7.4.1 Utilización de resultados	22
7.4.2 Análisis de resultados	22
7.5 Matriz de Leopold	22
7.5.1 Evaluación de Impactos Ambientales.....	23
7.5.2 Resultados.....	28
7.6 Encuesta.....	28
7.6.1 Dimensiones	28
7.6.2 Generación de preguntas	28
7.6.3 Formulación de respuestas.....	28
7.6.4. Análisis de resultados	29
7.7. Elaboración de la propuesta de una cadena de suministro sustentable en México....	29
8. Resultados.....	29
8.1 Criterios de aceptación.	29
8.2 Cuadro descriptivo.....	30
8.3 Matriz de Leopold del análisis de ciclo de vida.	37
8.3.1 Descripción de impactos.....	38
8.4 Validación de encuesta.....	40
8.5 Aplicación e interpretación de resultados de la encuesta	40
8.6 Propuesta de Cadena de Suministro.	43
9. Discusión	46
10. Conclusiones.....	50
11. Perspectiva.....	51
12. Cronograma de actividades	52
13. bibliografía	53
Anexo 1	63
Anexo 2	68

Índice de tablas

Tabla 1.1. Investigaciones relacionadas a la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar a nivel internacional.	8
Tabla 1.2. Investigaciones relacionadas a la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar a nivel nacional.	8
Tabla 1.3. Investigaciones relacionadas a la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar.	10
Tabla 1.4. Investigaciones realizadas del análisis de ciclo de vida de la cadena de suministro de la caña de azúcar.	11
Tabla 7.1 Calidad ambiental	24
Tabla 7.2 Intensidad.....	24
Tabla 7.3 Extension	25
Tabla 7.4 Persistencia	25
Tabla 7.5 Reversibilidad	25
Tabla 7.6 Sinergismo.	25
Tabla 7.7 Efecto	26
Tabla 7.7 Periodicidad	26
Tabla 7.8 Recuperabilidad	26
Tabla 8.1 Cuadro descriptivo.....	30
Tabla 8.2 Impactos generados.	37
Tabla 8.3 Opciones de respuesta.....	39

Índice de figuras.

Figura 7.1 Estrategia experimental.....	20
Figura 8.1 Aspectos con impacto severo	38
Figura 8.2. Dimensión económica.....	40
Figura 8.3 Dimensión ambiental.	41

Introducción

A nivel mundial la industrialización, la producción y el consumo de la caña de azúcar se concentra principalmente en el continente americano, seguido de Asia, Europa, África y Oceanía. Los principales países productores de caña de azúcar en orden descendente son: India, Brasil, Unión Europea, Tailandia y China. México se encuentra en el lugar número siete (Ledoux Ovies 2022).

En México, la producción e industrialización de la caña de azúcar es una de las actividades económicas que se realizan en distintos estados. Existen cinco grandes empresas dedicadas a la industrialización de la caña de azúcar: Beta San Miguel, Zucarmex, Grupo Piasa, Grupo Porres y GAM, que en conjunto obtienen como producto principal aproximadamente 2.5 millones de toneladas de azúcar (estándar y refinada), de los seis millones que produce anualmente a nivel nacional. De las anteriormente mencionadas, Beta San Miguel es la empresa con mayor producción, cuenta con 11 ingenios que se encuentran ubicados en los estados de Colima, Jalisco, Morelos, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz y producen aproximadamente 1 millón 144,789 toneladas al año, lo que representa 19.07% de la producción nacional. En el estado de Morelos existen dos ingenios azucareros, uno se ubica en la localidad de Casasano y otro llamado corporativo Emiliano Zapata en el municipio de Zacatepec, ambos pertenecen a la empresa Beta San Miguel (Martínez, 2017).

El progreso de la industria azucarera ha tenido un impacto ambiental negativo y significativo, deja una marcada huella ecológica, evidenciada en el consumo de recursos naturales y la contaminación que resulta de sus procesos. En el ámbito agrícola, las operaciones como la preparación del suelo y la cosecha generan considerables emisiones, contribuyendo a la problemática ecológica. Además, la fabricación de agroquímicos para la agricultura también emite contaminantes que deben ser controlados para mitigar los efectos del cambio climático (Fukushima & Chen, 2009).

La mayor parte de las actividades de los ingenios mexicanos se realizan mediante una cadena de suministro clásica, en la investigación se propone realizar un estudio detallado de las posibles brechas o áreas de oportunidad que existen para convertir las prácticas clásicas en prácticas sustentables, y transitar de una cadena de suministro clásica a una sustentable.

Para realizar un estudio del impacto ambiental y al ser humano que se producen en los procesos de la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar se desarrollará un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual está diseñado para evaluar los impactos ambientales de la producción, uso y la administración del desperdicio de los bienes. Se puede realizar un ACV para: decisiones involucradas en productos y desarrollos de procesos, decisiones sobre compras, estructura y construcción de información, etiquetado ecológico, declaraciones medioambientales de productos y decisiones sobre regulaciones (Tukker, 2000).

Por lo anteriormente mencionado, el presente trabajo de investigación consiste en realizar un estudio comparativo de las cadenas de suministro clásica y sustentable mediante una revisión bibliográfica en sitios web (español e inglés) como Google Académico (artículos científicos, tesis y libros), páginas de instituciones (SADER, CONADESUCA, INEGI) y páginas de empresas (BSM, Bonsucro, entre otras). Adicionalmente se realizará un análisis de ciclo de vida (ACV) de la cadena de suministro de la caña de azúcar en el estado de Morelos con la finalidad de evaluar y analizar los impactos ambientales y humanos que puedan causar los procesos.

1. Antecedentes

1.1 Cadena de suministro clásica de la caña de azúcar

Las agroindustrias representan un pilar fundamental en la economía global, actuando como un vínculo crucial entre el sector agrícola y el industrial. Este sector desempeña un papel vital en la transformación de materias primas de origen agrícola en una amplia gama de productos de valor agregado, que van desde alimentos procesados hasta biocombustibles y productos químicos. La intersección entre la agricultura y la industria no solo impulsa la diversificación económica, sino que también promueve la innovación tecnológica y contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible.

Las agroindustrias no solo generan empleo en áreas rurales, sino que también fomentan la integración de pequeños agricultores en cadenas de valor más amplias, proporcionando oportunidades de ingresos y mejorando su acceso a los mercados. Además, juegan un papel crucial en la mitigación del desperdicio de alimentos al aprovechar al máximo los recursos agrícolas y reducir las pérdidas de postcosecha. En los últimos años, se han desarrollado avances tecnológicos significativos, especialmente en el área de tecnologías de información y comunicación, así como en el sector agroindustrial, abarcando desde la producción primaria hasta los procesos manufactureros. Estos avances han generado nuevas oportunidades para las empresas agroindustriales, facilitando innovaciones en productos y procesos, fortaleciendo los vínculos en las cadenas de abastecimiento y mejorando los sistemas de distribución (Baker et al., 2013).

La producción del azúcar es una de las principales actividades de la agroindustria a nivel internacional. En el sector azucarero el desarrollo tecnológico ha sido mínimo debido a ello ha surgido la preocupación de que las empresas agroindustriales azucareras puedan quedarse rezagadas si no logran acceder de manera oportuna y rentable a estas tecnologías, es por esto que se ha tomado la decisión de realizar una revisión bibliográfica para analizar las posibles brechas de oportunidad y poder realizar el análisis más detallado de la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar, en la tabla 1.1 se mencionan las investigaciones más relevantes del año 2012 al 2023 relacionadas a la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar a nivel internacional señalando su autor, objetivo y la contribución que realizó con su trabajo.

Tabla 1.1. Investigaciones relacionadas a la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar a nivel internacional.

Autor	Objetivos	Contribución
Bezuidenhout et al., 2012.	Evaluar mediante un análisis los diferentes atributos de la colaboración en la cadena de producción y procesamiento de la caña de azúcar en Sudáfrica basándose en varias fuentes de literatura sobre gestión de la cadena de suministro.	Un perfil psicológico de los atributos del Índice de Colaboración de la Cadena de Suministro (SCCI) podría usarse de manera innovadora para obtener y validar las percepciones de las partes interesadas y generar datos empíricos.
Lenis Bedoya et al., 2013.	Diagnosticar el nivel de desempeño en la cadena de abastecimiento en una empresa del sector azucarero en Colombia, además de establecer la evolución del sector azucarero y su aporte al Producto Interno Bruto a nivel nacional.	Se obtuvo información donde se refleja que en el sector azucarero existe un flujo de información deficiente entre los actores que integran la cadena, debido a los niveles de aplicación tecnológica (software y bases de datos) dificultan la toma de decisiones estratégicas en tiempo real.
López-Milán et al., 2014.	Planificar las operaciones diarias en la cadena de suministro de la caña de azúcar mediante un sistema de apoyo a la decisión (DSS) en Cuba que se basa en un modelo de regresión lineal entera mixta para minimizar los costos de transporte en el suministro de caña.	Ahorro del 8% del costo de combustible al utilizar el modelo (DSS), además de la reducción en el uso de mano de obra y un mejor bienestar para los empleados.
Arriaga et al., 2016.	Diseñar un sistema para la mejora de la cadena de abastecimiento en el sector de la industria azucarera, utilizando la herramienta Máster Production Schedule (MPS).	Correcta aplicación del plan maestro de producción cumpliendo con los objetivos planteados (¿Qué, cuándo y cuánto producir?).
Teixeira, et al., 2023.	Analizar los modelos matemáticos que se han desarrollado del año 2003 - 2021, los cuales están enfocados a los	La cosecha es la etapa de la cadena en la que más investigaciones se han hecho y que por consiguiente se requiere realizar

	diferentes procesos de la cadena de suministro de la caña de azúcar en Colombia.	investigaciones más a fondo en las otras etapas.
--	--	--

Fuente: elaboración propia

Se observa que en la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar a nivel internacional a lo largo de los años han ido desarrollando diferentes estudios basados en modelos matemáticos, sistemas de mejora, planificación de actividades y organización, sin embargo, aún existen muchas brechas de oportunidades debido a la falta de información o a que se han realizado más estudios en la etapa de la cosecha haciendo menos énfasis en las demás etapas.

En la tabla 1.2 se muestran las investigaciones relacionadas a la cadena de suministro de agroindustria azucarera en México, mencionando los objetivos y la contribución respectivamente.

Tabla 1.2. Investigaciones relacionadas a la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar a nivel nacional.

Autor	Objetivo	Contribución
Ramírez et al, 2010.	Evaluar la eficiencia relativa y la calidad de los experimentos de 12 fertilizantes aplicados en caña de azúcar desarrollados en los estados de Veracruz y Oaxaca, México.	El diseño de bloques al azar fue el apropiado observando que la calidad de los 12 experimentos analizados tuvo precisión de buena y muy buena, en un 75% de acuerdo con los valores obtenidos del coeficiente de variación.
Cazares 2014.	Describir la situación actual de la agroindustria en México, además de describir los procesos de industrialización de la caña de azúcar.	Información de cómo está constituida la estructura productiva de la agroindustria cañera y los procesos de industrialización de la caña de azúcar en México.
Aguilar 2014.		

	<p>Evaluar la capacidad y estrategias de reconversión productiva de la agroindustria azucarera de Veracruz México, mediante el análisis de la productividad de la cadena agroindustrial, con el uso de una Matriz de ponderación.</p>	<p>Se observo que la caña de azúcar posee todas las características necesarias para constituir la base de un desarrollo social de seguridad alimentaria económicamente viable, autoenergético y ecológicamente sustentable en Veracruz.</p>
<p>Aguilar 2017.</p>	<p>Analizar los factores limitantes para establecer un programa nacional de reconversión de la cadena de suministro.</p>	<p>Muestra la diversificación de los productos de la caña de azúcar y los factores limitantes para su reconversión.</p>

Fuente: elaboración propia

Podemos observar que en la cadena de suministro clásica a nivel nacional se han desarrollado diferentes estudios enfocados a la etapa de cosecha analizando diferentes fertilizantes, en la etapa de industrialización describiendo los procesos por los que pasa la caña de azúcar para su transformación. Por último, estudios para la reconversión de la cadena de suministro y transformar procesos convencionales en sustentables.

1.2 Cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar

Dentro de las agroindustrias, las cadenas de suministro y las investigaciones vinculadas con su conceptualización, estructuras y evolución son importantes para un mejor entendimiento de estas y el logro de mejoras. Entre las mejoras importantes que se han desarrollado está la inclusión de procesos sustentables a lo largo de toda la cadena, convirtiendo las cadenas tradicionales en cadenas de suministro sustentables, sin embargo, existen áreas de oportunidad que han imposibilitado este tránsito. Un ejemplo de ello son las cadenas de suministro en las agroindustrias azucareras. Por ello se hace necesario analizar los antecedentes de investigaciones realizadas que permitan determinar las brechas y/o áreas de oportunidad que permitan el logro de cadenas de suministro sustentables en México.

En la tabla 1.3 se muestran las investigaciones más relevantes relacionadas a los procesos dentro de la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar tanto a nivel internacional como nacional, mencionando el autor, objetivo y aportación de su investigación.

Tabla 1.3. Investigaciones relacionadas a la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar.

Autor.	Objetivos.	Contribución.
Sanclemente et al., 2015.	Analizar el efecto del abono verde <i>Vigna unguiculata</i> en el cultivo sostenible de caña de azúcar utilizando un diseño aleatorio en bloques en Colombia.	Un proceso sustentable debido a que los resultados mostraron que este abono aportó una cantidad significativa de materia orgánica al suelo, redujo la presencia de malas hierbas y aumentó la producción de azúcar en surcos 1x1.
Chávez et al., 2020.	Proponer un modelo de optimización estocástica multiobjetivo para la programación ascendente (cosecha, mantenimiento y transporte) con un enfoque sostenible.	Los resultados computacionales se pueden utilizar para encontrar un equilibrio adecuado entre la recolección mecánica y manual; logrando al mismo tiempo, los mejores valores de desempeño posibles para los objetivos sustentables.
Mursidah et al., 2022.	Analizar 151 artículos del año 2004 al 2020, relacionados a los métodos existentes para la evaluación de la sostenibilidad de la cadena de suministro y desarrollar un nuevo marco para futuras investigaciones en Indonesia y a nivel mundial.	Se obtuvo como resultado que las organizaciones pueden mejorar su desempeño en materia de sostenibilidad mediante la toma de decisiones, desarrollando modelos de los procesos existentes basados en datos.
Morales et al., 2021.	Desarrollar un sistema de producción basado en la utilización de biofertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar en México.	El uso de biofertilizantes en la producción de caña de azúcar mejora sustancialmente la sustentabilidad y rentabilidad del cultivo.

Fuente: elaboración propia.

En los últimos años se han realizado estudios a nivel internacional de las cadenas de suministro sustentables en la agroindustria azucarera principalmente en los países con mayor producción, sin embargo, la mayoría de estas enfocadas más a la etapa de cosecha, por lo que

existen muchas brechas aun, debido a que en la mayoría de los casos solo se cuenta con la implementación de procesos sustentables y no con una cadena de suministro sustentable, por consiguiente es necesario realizar un estudio más detallado de todas las etapas de la cadena.

1.3 Análisis de ciclo de vida (ACV)

El análisis de ciclo de vida consiste en realizar el estudio de un producto que pasa por diferentes etapas las cuales cuentan con entradas y salidas, nos sirve para analizar los impactos negativos tanto ambientales como al ser humano provocados por los procesos, por lo que en la agroindustria azucarera ha resultado ser muy útil para analizar la caña de azúcar.

Los límites del sistema en el estado actual del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la caña de azúcar comienzan con la producción de fertilizantes, herbicidas y pesticidas, y culminan con la obtención de azúcar de caña en diversas formas. En algunas investigaciones científicas como las que se muestran en la tabla 1.4.1, el ACV se ha aplicado a subproductos como la melaza para alimentación animal, el uso de etanol como combustible, el tratamiento de aguas residuales, la torta de filtración y las cenizas para la producción de biogás.

En la revisión realizada se encontró poca evidencia de estudios relacionados a la cadena de suministro sustentable en la agroindustria a nivel internacional, pero sobre todo en México, debido a eso se tomó de la decisión de desarrollar un análisis de ciclo de vida (ACV) de la cadena de suministro de la caña de azúcar para realizar un estudio más detallado de los procesos que se presentan dentro de ella (cultivo, transporte, producción y distribución). Por consiguiente, se realizó una búsqueda de los estudios que han realizado relacionados al ACV de la caña de azúcar obteniendo como resultado lo que se muestra a continuación en la tabla 1.4 Se mencionan los trabajos relacionados al ACV en donde estudian como mínimo tres etapas de la cadena que se pretenden investigar.

Tabla 1.4. Investigaciones realizadas del análisis de ciclo de vida de la cadena de suministro de la caña de azúcar.

Autor.	Objetivos.	Contribución.
Ramjeawon 2004.	Analizar ciclo de vida de la caña de azúcar	Implementar el ACV en las etapas de cosecha, producción y generación de energía, obteniendo como resultados

	<p>Identificar y revisar las áreas importantes de posibles impactos ambientales en todo.</p> <p>Proponer respuestas de mejoras sustentables.</p>	<p>importantes que el cultivo y la cosecha de caña representan el mayor impacto ambiental (44%), seguido de la fabricación de fertilizantes y herbicidas (22%). Además, muestra que el consumo de energía primaria por UF es de 1995 MJ y 233 kg de CO₂ equivalente en el calentamiento global.</p>
Mashoko et al., 2010.	<p>Evaluar los impactos ambientales y el consumo de energía de las diferentes fases del ciclo de vida de la producción de azúcar incluyendo el cultivo de caña de azúcar, la fabricación de fertilizantes y herbicidas, la quema de caña, el transporte de caña y la fabricación de azúcar.</p>	<p>Aplicación del ACV en las etapas de cultivo, cosecha, producción y cogeneración eléctrica a partir de bagazo.</p>
Rodrigues et al., 2023.	<p>Identificar de qué manera impacta la cadena de suministro de la caña de azúcar los aspectos ambientales y de salud humana, además del uso de recursos en ACV en la región del Medio Oeste de Brasil, considerando las etapas de cultivo, transporte y producción.</p>	<p>Aplicación de un análisis de ciclo en donde se observó que las actividades que más afectan el uso de fertilizantes y pesticidas y la quema de cultivos durante la cosecha lo cual amenaza gravemente la sostenibilidad de esta cadena de suministro.</p>

Fuente: elaboración propia

Se han realizado diferentes estudios del análisis de ciclo de vida de la caña de azúcar, a nivel internacional en diferentes países se han estudiado todas las etapas, sin embargo, a nivel nacional existen brechas de oportunidad para analizar a detalle la producción de azúcar en los ingenios azucareros.

Con base a la información obtenida es posible realizar un análisis de los diferentes procesos, prácticas e impactos asociados de las cadenas de suministro tradicional y sustentable, apoyado de un ACV de la caña de azúcar.

Dejando en evidencia que la primera se caracteriza por prácticas convencionales que pueden tener impactos negativos en el ambiente, la sociedad y la economía, por otro lado, la implementación de microprocesos sustentables dentro de la producción de azúcar, así como la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar tienen como objetivo principal el mejoramiento de cuestiones ambientales, sociales y económicas.

Por lo tanto, en conclusión, se resalta la importancia de promover la transición hacia una cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar, que garantice la viabilidad a largo plazo del sector azucarero mientras se protegen los recursos naturales.

2. Marco teórico

2.1 Cadena de suministro

Actualmente, las organizaciones se encuentran en una constante búsqueda de alternativas para conseguir soluciones a los retos a los que se enfrentan en un mundo globalizado y altamente competitivo. Por ello, cada empresa u organización necesita desarrollar estructuras y procesos con los que puedan competir contra las exigencias del mercado, entendiendo que los bienes o servicios deben cumplir con altos estándares de calidad que les permitan competir y participar en el mercado comercial (Nugent, 2019).

De acuerdo con los autores Chopra & Meindl (2013); Ricardo Saucedo López (2001), la cadena de suministro está compuesta de todas las partes involucradas, para satisfacer, de una manera directa o indirectamente, las necesidades o peticiones de los clientes, en donde se adquieren las materias primas, se transforman y se envían al cliente.

Mientras que Krawjesky et al, (2013) consideran la cadena de suministro como “la red de servicios, materiales y flujos de información que vincula los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores de una empresa con los procesos de sus proveedores y clientes, es decir, la cadena de suministro incluye las actividades asociadas desde la obtención de materiales para la transformación del producto hasta su colocación en el mercado”.

En este sentido, la cadena de suministro incluye a los fabricantes y proveedores, así como, transportistas, almacenistas, vendedores al menudeo y es motivada por la demanda que hay en el mercado, siendo esta el motor o catalizador de toda la cadena en sentido inverso. (Chopra & Meindl, 2013; Ricardo Saucedo López, 2001).

Dentro de las etapas de una cadena de suministro encontramos: clientes, detallistas, mayoristas y distribuidores, fabricantes y proveedores de componentes y materias primas. Sin embargo, es importante mencionar que no todas estas etapas están presentes en la cadena de suministro. Cada cadena de suministro debe diseñarse de acuerdo con las necesidades del cliente, así como de las funciones realizadas por las etapas implicadas (Chopra & Meindl, 2013) y en algunos casos una empresa puede tener múltiples cadenas de suministro que dependen de la mezcla de los servicios o productos entregados (Krawjesky et al., 2013).

El objetivo principal de las cadenas de suministro debe ser, maximizar el valor total generado entregando los bienes y servicios a tiempo, evitando pérdidas o mermas innecesarias, optimizando los tiempos de distribución, además del manejo adecuado de inventarios y almacenes, establecer canales de comunicación y coordinación adecuados y hacer frente a cambios imprevistos en la demanda, oferta u otras condiciones (Nugent, 2019).

De acuerdo con Pires y Carretero (2007), la gestión de la cadena de suministro está compuesta por 3 fases principales: fase de aprovisionamiento, fase de producción y fase de distribución o comercialización.

1.- Fase de aprovisionamiento: es la fase de la cadena donde se obtienen las materias primas, las cuales son gestionadas entre los puntos de adquisición (proveedores iniciales) y las plantas de procesamiento, permitiendo el abastecimiento de materiales, recursos o insumos requeridos.

2.- Fase de producción: en esta fase los materiales son transformados para convertirlos en producto terminado. Esta fase nos permite conocer el proceso productivo que puede presentar particularidades, lo que hace que las actividades de producción sean un proceso sencillo o complejo y esto depende del área donde se analice. Los diversos elementos en esta fase permiten la detección de alertas que tienen una implicación en la productividad y competitividad de la empresa.

3.- Fase de distribución o comercialización: es la última fase donde el producto final es trasladado para ser almacenado y posteriormente adquirido por el consumidor. Lo que permite a las organizaciones un posicionamiento dentro de los mercados, asegurar las ventas y aumentar los ingresos.

2.2 Cadena de suministro sustentable

El término sustentabilidad se ha presentado en diferentes ámbitos de la vida humana, entre ellos la administración de la cadena de suministro, son pocas las teorías que se han presentado para el estudio de las evoluciones en las organizaciones, ante el desarrollo sustentable. Destaca la contribución de Hart (1995) que desde una perspectiva de la organización se enfoca en los recursos naturales, mientras que Freeman (1984) utiliza el análisis de los grupos de interés para incorporar la sustentabilidad a las cadenas de suministro (Carter y Easton, 2011).

La sustentabilidad se ha integrado en el centro de la discusión de la planeación estratégica, desde la teoría de los recursos y capacidades para generar la ventaja competitiva, lo que ha derivado en la gestión de las cadenas de suministro sustentables que hace referencia a la administración del flujo de los insumos, el capital y la información, así como, la colaboración entre las organizaciones a lo largo y ancho de toda la cadena de suministro, mientras que a su vez se consideran las tres dimensiones del desarrollo sustentable (económica, ambiental y social), que se desprenden de las necesidades de los consumidores y los grupos de interés. Un factor clave es la colaboración entre organizaciones, ya que indica el mecanismo que hace posible la gestión de la sustentabilidad en la cadena de suministro (Seuring et al., 2008; Kaplinsky et al., 2010).

La gestión de la sustentabilidad en la cadena de suministro se define como la administración de los insumos, el capital, el flujo de información y control de riesgos, a través de la colaboración de y entre las organizaciones a lo largo y ancho de la cadena de suministro, al mismo tiempo que integren las tres dimensiones del desarrollo sustentable que son económica, social y ambiental, los cuales se derivan de la normatividad y demandas de los grupos interesados. En resumen, la investigación sobre la sustentabilidad y cadenas de suministro presenta algunas deficiencias de las organizaciones en el conocimiento sobre las afectaciones sociales y ambientales que resultan de sus operaciones, así como el difícil acceso a los datos de la cadena de suministro completa, y las limitaciones presentes de los instrumentos de medición de la sustentabilidad (Rivera, 2020).

2.3 Análisis de ciclo de vida.

De acuerdo con Leyva (2016), el análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que permite evaluar de manera objetiva y científica el impacto ambiental de un producto o proceso desde su inicio hasta su eliminación final. Este análisis abarca todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto. Inicialmente, se conocía como ecobalanceo o análisis del perfil ambiental.

Dependiendo del tipo de estudio que se pretenda realizar se pueden encontrar diferentes alcances en el desarrollo de un ACV, siendo los más habituales:

- De la puerta a la puerta: el cual se enfoca en las actividades (proceso productivo) de la empresa a la que se aplica.
- De la cuna a la puerta: este abarca desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.
- De la puerta a la tumba: se considera desde el proceso productivo de la empresa hasta la fase de gestión de los residuos que da lugar al producto.
- De la cuna a la tumba: analiza desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos.
- De la cuna a la cuna: está enfocado a todo el ciclo de vida del producto, ya que abarca desde el acondicionamiento de las materias primas hasta que el producto, tras quedar fuera de uso, es reintroducido en el mismo proceso productivo o en otro.

Por su parte, Rodríguez (2003) menciona que la metodología del ACV está compuesta por cuatro etapas de acuerdo con la ISO 14040, las cuales son:

1.- Definición de los objetivos y el alcance: Es la etapa donde se establecen los objetivos que se pretenden cumplir y los resultados que se desean obtener.

- 2.- Análisis del inventario: En esta etapa se establecen las entradas y salidas dentro de los procesos a desarrollar.
- 3.- Evaluación del impacto: se realiza un análisis de los resultados obtenidos en la investigación.
- 4.- Interpretación de resultados: Se interpretan los resultados obtenidos del análisis.

3. Planteamiento del problema

La problemática ambiental se ha incrementado durante los últimos años provocando pérdidas y deterioro de biodiversidad, contaminación de las aguas y suelos, entre otras. La agroindustria es una de las actividades principales de la economía mexicana, pero también es una de las que más impactan negativamente en el ambiente. El azúcar como producto del procesamiento de la caña, es uno de los alimentos de mayor consumo a nivel nacional e internacional, en México uno de los principales productos exportados.

Es necesario investigar a fondo los problemas en la cadena de suministro de la caña de azúcar, debido a que se ha visto afectada la calidad de la materia prima que es entregada a los ingenios por diferentes aspectos como el daño provocado al suelo por el uso de aguas residuales y productos químicos, y la contaminación del agua debido al mal manejo de envases.

Por otro lado, se deben considerar aspectos sociales, como la falta de participación de la comunidad en la planificación de la producción y de salud, debido a los riesgos para las personas que viven cerca de áreas de quema de residuos.

En términos económicos, los proveedores se ven afectados por los bajos precios de la materia prima, lo que hace que la producción de caña de azúcar sea poco rentable y conduzca a la conversión de tierras agrícolas en áreas urbanas.

Estos son solo algunos de los desafíos a abordar en la cadena de suministro de la caña de azúcar, por lo que se ha tomado la decisión de implementar un análisis de ciclo de vida (ACV), ya que es una herramienta de análisis de los impactos producidos al ambiente y al ser humano.

De acuerdo con los expertos en teoría el análisis periódico de las etapas que forman las cadenas de suministro permite detectar las fallas o errores que se pueden llegar a presentar

en los procesos de la caña de azúcar, al realizarlo de manera correcta esto llevara al éxito en la obtención de productos competitivos y de calidad que garanticen la mayor satisfacción del cliente, por el contrario, de no ser detectadas estas fallas no se cumplirán las metas establecidas.

Además, se ha decidido examinar tanto los métodos convencionales de la cadena de suministro con el fin de hacerlos sustentables, como evaluar los procesos sostenibles en curso, con la meta de lograr una cadena de suministro totalmente sustentable.

4. Justificación

Las problemáticas mencionadas surgen de la necesidad de investigar si los procesos productivos actuales son sustentables, y luego de la revisión bibliográfica realizada, se obtuvo como resultados preliminares el hecho de que actualmente en las agroindustrias azucareras de México se desarrollan las actividades basadas en una cadena de suministro clásica.

El presente trabajo de investigación pretende aportar información y análisis de la cadena de suministro clásica y los procesos sustentables que existen actualmente en la agroindustria azucarera tanto a nivel internacional como nacional, para identificar los errores y/o problemas que se están presentando actualmente en las diferentes etapas desde la obtención de materia prima, industrialización y distribución de las antes mencionadas.

Para ello se tomó la decisión de realizar un análisis de ciclo de vida de la cadena de suministro de la caña de azúcar con la finalidad de identificar los procesos que causan mayor impacto tanto al medio ambiente como al ser humano.

5. Hipótesis

La cadena de suministro clásica genera mayor impacto ambiental que la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Realizar un estudio comparativo entre una cadena de suministro clásica y una cadena de suministro sustentable de la agroindustria azucarera.

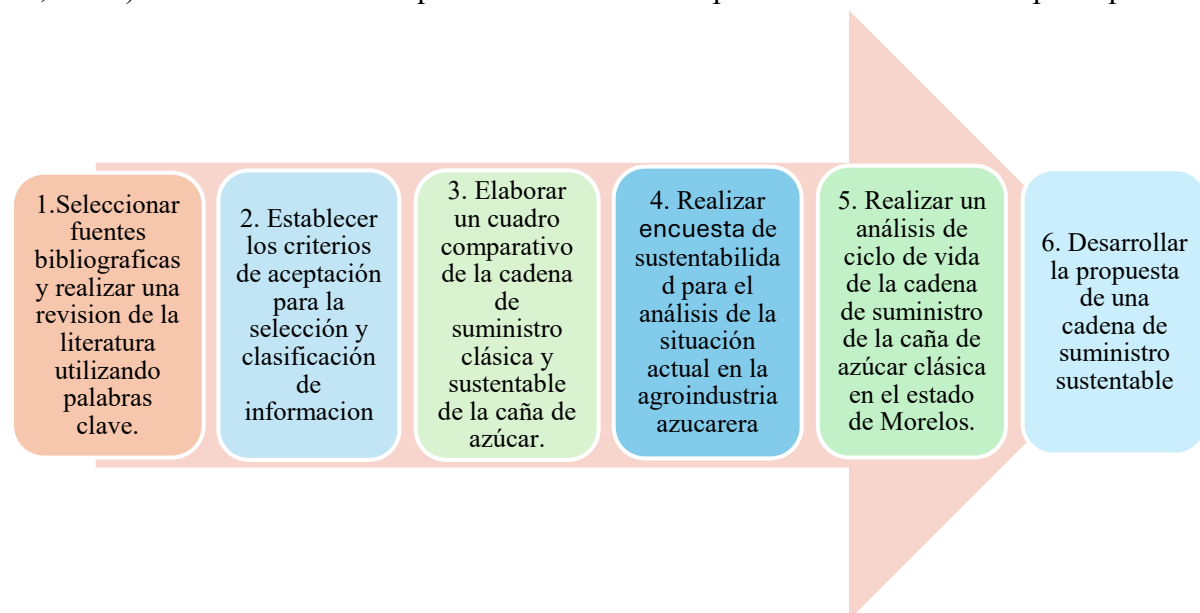
6.2 Objetivos específicos

- 1.-Determinar los criterios para el análisis de las cadenas de suministro clásicas y sustentables de la caña de azúcar en Morelos.
- 2.- Describir detalladamente las cadenas de suministro clásicas y sustentables de la caña de azúcar internacionales y nacionales que existen en la literatura y realizar un análisis comparativo.
- 3.- Realizar un análisis de ciclo de vida de la cadena de suministro de la caña de azúcar en Morelos.
- 4.- Realizar la propuesta de una cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar para su posible aplicación en el estado de Morelos.

7. Metodología

7.1 Estrategia experimental

En el presente proyecto se empleó una investigación mixta: cualitativa y cuantitativa, con dos tipos de estudio, comenzando con el exploratorio y seguido por el descriptivo (Cortés et al., 2005). Se realizó una búsqueda de información para describir los conceptos que se



pretendían investigar, a través de sitios web (español e inglés) como Google académico (artículos científicos, tesis y libros), páginas de instituciones (SADER, CONADESUCA) y páginas de empresas (BSM, Bonsucro, entre otras). Además, se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida de la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar. En la figura 7.1 se mencionan las actividades que fueron necesarias para su realización.

Figura 7.1 Estrategia experimental.

7.2 Diseño experimental

7.2.1 Criterios de aceptación

Se definieron los criterios de aceptación para considerar la información documental como válida:

- A) Relevancia
- B) Rigor técnico o científico
- C) Contextualización
- D) Aplicabilidad

7.2.2 Búsqueda de información

Se realizó una búsqueda sistemática de fuentes académicas y técnicas que proporcionaron información fundamentada sobre las cadenas de suministro clásicas y sustentables dentro de la agroindustria azucarera.

Esta fase fue esencial para establecer una base teórica que sustentó el marco conceptual del estudio, mediante el cual se identificaron las brechas de conocimiento existentes en la literatura. A través de esta búsqueda, se recopilaron estudios empíricos y teóricos previos, tanto cuantitativos como cualitativos, que sirvieron para realizar un análisis comparativo riguroso.

Con los datos obtenidos, se realizó una comparación entre ambas cadenas, proporcionando un enfoque integral para analizar su eficiencia, sustentabilidad y viabilidad económica.

Además, la selección de fuentes incluyó estudios recientes y publicaciones indexadas que aseguraron un alto nivel de calidad y validez científica en el análisis final del proyecto.

7.2.3 Temporalidad

Se priorizaron estudios publicados en los últimos 10-15 años, salvo cuando se requirieron referencias históricas.

7.2.4 Temática

La búsqueda se llevó a cabo utilizando palabras clave como "cadena de suministro", "cadena de suministro sustentable", "caña de azúcar", "agroindustria azucarera" y "procesos sustentables en la caña de azúcar".

7.2.5 Idioma

Los artículos analizados incluyeron tanto fuentes en español como en inglés.

7.2.6 Revista indexada

Se seleccionaron artículos publicados en revistas científicas indexadas, validadas por su rigor y relevancia en el ámbito académico.

7.2.7 Buscadores

La búsqueda se realizó en plataformas académicas como Google Scholar, Scopus, PubMed, ScienceDirect, así como en sitios web de instituciones públicas y privadas, además de libros y revistas científicas.

7.3 Manejo de información

En esta fase se llevó a cabo la recolección, organización, análisis y síntesis de datos obtenidos de la búsqueda bibliográfica, con el objetivo de comparar ambos tipos de cadenas de suministro de la caña de azúcar.

7.3.1. Análisis de la información.

Los documentos seleccionados fueron revisados en detalle para realizar un análisis de la información.

7.3.2 Clasificación y organización de la información

La información recopilada fue organizada y clasificada según su relevancia temática, tipo (cuantitativa o cualitativa), y procedencia (fuentes académicas o técnicas). Se jerarquizó según el impacto científico de cada fuente, lo que facilitó la comparación entre las cadenas de suministro clásicas y sustentables. Este proceso aseguró una disposición accesible para un análisis estadístico y cualitativo, manteniendo la integridad y consistencia del estudio.

7.3.3 Resultados

Los resultados obtenidos permitieron hacer comparaciones precisas y generar conclusiones que confirmaron las hipótesis sobre las diferencias entre las cadenas de suministro clásica y sustentable.

7.4 Elaboración de cuadro comparativo

Se elaboró un cuadro que describió detalladamente cómo se llevaron a cabo las actividades en las tres etapas de la cadena de suministro clásica, contrastándolas con los procesos sustentables analizados. Este cuadro incluyó la fuente de información correspondiente, asegurando la claridad y precisión de los datos recopilados.

7.4.1 Utilización de resultados

Los resultados obtenidos fueron utilizados para generar un informe detallado sobre los procesos involucrados en ambas cadenas de suministro.

7.4.2 Análisis de resultados

Se realizó un análisis comparativo que incluyó aspectos como los procesos dentro de las cadenas de suministro, así como las contribuciones científicas relacionadas con la cadena de suministro clásica y los procesos sustentables a nivel internacional y en México. Mediante un cuadro comparativo se destacaron las investigaciones más relevantes o útiles identificadas, con el objetivo de proporcionar una base sólida para el desarrollo de una propuesta que optimizara la cadena de suministro hacia un modelo sustentable.

7.5 Matriz de Leopold

Se aplicó una Matriz de Leopold desde el enfoque del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), con el propósito de identificar y evaluar los principales aspectos ambientales de la cadena de suministro de la caña de azúcar.

Para este análisis se consideraron 35 aspectos ambientales, incluidos los recursos necesarios para la ejecución de las 7 actividades, los tipos de residuos generados (Residuos Sólidos Urbanos [RSU], Residuos de Manejo Especial [RME] y Residuos Peligrosos [RP]), así como los impactos sobre los distintos componentes del entorno (aire, suelo y agua). Esta herramienta se utilizó porque permitió visualizar de manera clara y estructurada los efectos ambientales asociados a cada actividad. Como base metodológica se empleó el Manual de procedimientos para la identificación y evaluación de aspectos, impactos y riesgos ambientales, desarrollado por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

7.5.1 Evaluación de Impactos Ambientales

Con base en el manual mencionado, se procedió a asignar valores a cada una de las actividades en función de los aspectos evaluados. Esta asignación se realizó utilizando criterios propios, sustentados en la observación de prácticas reales y en los conocimientos adquiridos durante el proceso de estudio.

Una vez identificados los impactos derivados de la aplicación de la Matriz de Identificación, Evaluación de Aspectos e Impactos y Riesgos Ambientales, se procedió a evaluar su importancia. Así, para el caso de la Evaluación de los Impactos Ambientales, se aplica la ecuación modificada propuesta por Conesa (2006). La cual es:

$$I = \pm (3 I_n + 2 E_x + P_e + R_v + S_i + E_f + P_r + M_c)$$

Donde:

- I = Importancia del impacto
- C_a = Calidad (\pm)
- I_n = Intensidad
- P_e = Persistencia
- R_v = Reversibilidad
- E_f = Efecto
- P_r = Periodicidad
- E_x = Extensión
- S_i = Sinergia
- M_c = Recuperación

Para la aplicación de este procedimiento se consideran las siguientes definiciones y criterios de evaluación:

Calidad ambiental (Ca). Es el impacto ambiental, adverso o beneficioso, de los aspectos ambientales de la CSCA.

Tabla 7.1 Calidad ambiental

CRITERIO		VALOR
Calidad/signo	Beneficioso	+
	Adverso	-

Intensidad (In). Se refiere al grado de impacto ambiental, adverso o beneficioso, que cambia o modifica el aspecto ambiental.

Tabla 7.2 Intensidad

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCIÓN (Adverso)	DESCRIPCIÓN (Beneficioso)
Intensidad (In)	Significativo	12	Rebasa los límites máximos permisibles por una Norma en el uso de recursos naturales o en la generación de residuos.	Sustituye el consumo de recursos o de impactos ambientales adversos desde una perspectiva sustentable.
	Medio	8	Se encuentra debajo de los límites máximos permisibles por una Norma en el uso de recursos naturales o en la generación de residuos.	Disminuye (50-99%) el consumo de recursos o de impactos ambientales adversos desde una perspectiva sustentable.
	Mínimo	4	No existen límites máximos permisibles por una Norma en el uso de recursos naturales o en la generación de residuos.	Disminuye (1-49%) el consumo de recursos o de impactos ambientales adversos desde una perspectiva sustentable.

Extensión (Ex). Aplica para el área de influencia teórica del impacto ambiental, en relación con el entorno de los aspectos ambientales (porcentaje de área respecto al entorno en que se manifiesta el efecto).

Tabla 7.3 Extensión

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adverso o Beneficioso)
Extensión (Ex)	Global	8	Impacto ambiental detectado más allá del alcance de la CSCA.
	Regional	4	Impacto ambiental detectado en todo el alcance de la CSCA.
	Local	2	Impacto ambiental detectado en parte del alcance de la CSCA.

Persistencia (Pe). Tiempo que supuestamente permanecerá el impacto ambiental desde su aparición.

Tabla 7.4 Persistencia

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adverso o Beneficioso)
Persistencia (Pe)	Temporal	1	Presencia continua del impacto ambiental hasta 1 año.
	Permanente	4	Presencia continua del impacto ambiental más de 1 año.

Reversibilidad (Rv). Retorno de manera natural a las condiciones previas al impacto ambiental adverso.

Tabla 7.5 Reversibilidad

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adverso)
Reversibilidad (Rv)	Corto plazo	2	Menor a 3 años
	Mediano plazo	4	A partir de 3 años

Sinergismo (Si). Considera los impactos ambientales provocados por los aspectos ambientales sobre uno o más componentes ambientales.

Tabla 7.6 Sinergismo.

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adversos o Beneficiosos)
Sinergismo (Si)	No	1	Su impacto ambiental abarca sólo un componente ambiental (agua, aire, suelo, flora, fauna).
	Si	4	Su impacto ambiental abarca más de un componente ambiental (agua, aire, suelo,

			flora o fauna).
--	--	--	-----------------

Efecto (Ef). Se refiere a los impactos ambientales generados dentro o fuera del alcance de la CSCA.

Tabla 7.7 Efecto

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adversos o Beneficiosos)
Efecto (Ef)	Directo	4	Impacto ambiental generado dentro del alcance de la CSCA que altera cuando menos uno de los componentes ambientales (agua, aire, suelo, flora o fauna).
	Secundario-indirecto	1	Impacto ambiental generado fuera del alcance de la CSCA que altera cuando menos uno de los componentes ambientales (agua, aire, suelo, flora o fauna).

Periodicidad (Pr). Se refiere a la regularidad de la presencia del impacto ambiental.

Tabla 7.7 Periodicidad

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adversos o Beneficiosos)
Periodicidad (Pr)	Baja	1	Se ha presentado o se produce una vez al año en la CSCA.
	Media	2	Se produce entre 2 y 10 veces al año en la CSCA.
	Alta	4	Se produce más de 10 veces al año en la CSCA.

Recuperabilidad (Mc). Retorno a las condiciones del componente ambiental previas al impacto ambiental mediante la intervención humana (medidas de manejo ambiental).

Tabla 7.8 Recuperabilidad

CRITERIO		VALOR	DESCRIPCION (Adversos)
	Inmediato	1	La desaparición del impacto ambiental en menos de 1 año.
	Mediano plazo	2	La desaparición del impacto ambiental

Recuperabilidad (Mc)			entre 1 y 4 años.
	Largo plazo	4	La desaparición del impacto ambiental en más de 4 años.
	Irrecuperable	8	Nunca será posible que regrese a su estado inicial el componente natural.

Una vez aplicada la ecuación para cada uno de los impactos ambientales identificados y valorados, se obtuvo la Importancia del Impacto, cuyos valores varían entre 13 y 100. Adicionalmente, se les agrega un color a efecto de que se identifiquen con mayor claridad, clasificándose como:

CLASIFICACIÓN (adversos)	VALORES	COLOR
Irrelevantes	Menores a 25	
Moderados	Entre 26 y 50	
Severos	Entre 51 y 75	
Críticos	Mayor de 75	

Una vez asignados los valores en la matriz, se tomaron en cuenta los aspectos que se encuentran en un valor entre 51 y 75 que representa un impacto severo, se identifica de color naranja. Así mismo, los impactos con un valor mayor a 75 denominados críticos que se observan en color rojo.

Para el caso de los impactos ambientales calificados como positivos en el criterio de evaluación “CALIDAD AMBIENTAL” (Ca), independientemente del valor numérico se les asignará el color azul para diferenciarlos del resto de los impactos ambientales cuya calidad haya sido calificada como negativa.

7.5.2 Resultados

Los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados, y con base en dicha interpretación se elaboraron propuestas de mejora. Estas propuestas estuvieron fundamentadas en información científica proveniente de fuentes de investigación confiables.

7.6 Encuesta

Se diseñó una escala de medición para aplicar encuestas a los ingenios en Morelos. Los resultados fueron analizados mediante el programa Excel.

7.6.1 Dimensiones

Se definieron las dimensiones a evaluar en la encuesta, como aspectos ambientales, económicos y sociales.

7.6.2 Generación de preguntas

Las preguntas fueron formuladas con la finalidad de obtener la información necesaria de las encuestas.

7.6.3 Formulación de respuestas

Se plantearon cuatro posibles respuestas para cada una de las preguntas de la encuesta las cuales fueron las siguientes:

- A) No aplica nunca en ninguna área de la empresa.
- B) Aplica algunas veces en algunas áreas de la empresa.
- C) Aplica siempre en algunas áreas de la empresa.
- D) Aplica siempre para toda la empresa.

7.6.4. Análisis de resultados

Los resultados fueron interpretados para generar las conclusiones del estudio.

7.7. Elaboración de la propuesta de una cadena de suministro sustentable en México

Con base en los resultados obtenidos del cuadro comparativo realizado y sustentado con el análisis de ciclo de vida, se realizó la propuesta de una cadena de suministro sustentable.

8. Resultados

8.1 Criterios de aceptación.

Se seleccionaron artículos con base a los criterios de aceptación que a continuación se mencionan:

- A) Relevancia. Que aborden específicamente el cultivo y/o la industria de la caña de azúcar.
 - Cadena de suministro clásica y procesos sustentables de la producción de azúcar.
 - Cadena de suministro clásica y procesos sustentables para la producción de caña.
 - Análisis de ciclo de vida de la caña de azúcar.

B) Rigor técnico o científico: Información proveniente de artículos científicos de plataformas académicas como Google Scholar, Scopus, PubMed, ScienceDirect, así mismo, tesis académicas, informes técnicos, organismos oficiales o instituciones reconocidas (ej. FAO, INIFAP, CONADESUCA).

C) Contextualización: Fuentes que incluyan información tanto a nivel internacional como nacional (México), para una mejor comparación contextual.

- Cadena de suministro clásica y sustentable de la agroindustria azucarera a nivel internacional nacional y local.

D) Aplicabilidad: Información útil para describir prácticas tradicionales o proponer mejoras sustentables.

E) Procesos de la cadena de suministro de la caña de azúcar (corrección de suelo, aplicación de fertilizantes y plaguicidas, transporte de la caña de azúcar a la empresa, producción de azúcar, empaclado y distribución).

8.2 Cuadro descriptivo

Se desarrollo un cuadro descriptivo que detalla los procesos llevados a cabo en la cadena de suministro para la obtención de azúcar mediante métodos convencionales y los procesos sustentables identificados.

El objetivo principal de este análisis comparativo fue cimentar las bases para desarrollar una cadena de suministro más sustentable, que pueda integrarse de manera efectiva en el sector azucarero. A continuación, en la Tabla 8.1 se presenta la información obtenida del análisis bibliográfico, organizada en tres columnas: el proceso (que incluye las actividades de la cadena), la cadena de suministro clásica y la cadena de suministro sustentable. En estas dos últimas se describen las formas en que se llevan a cabo las actividades en cada enfoque, permitiendo comparar prácticas tradicionales con alternativas más responsables con el ambiente.

Tabla 8.1 Cuadro descriptivo.

Proceso	Cadena de suministro clásica.	Procesos sustentables.
Corrección de suelo y siembra de planta de semillero.	Esta actividad se utiliza para mejorar la infiltración de agua, facilitar el desarrollo de raíces y aumentar la disponibilidad de nutrientes mediante labores como descepado, subsolado, arado, surcado y construcción de canales de riego y drenaje. La producción de semilla de caña mediante plantas germinadas asegura su pureza y sanidad, mediante selección, tratamientos, germinación en sustratos y manejo en viveros (Vallejo Campo 2016; Rodríguez, et al., 1995; Sabadi et al., 2019).	La adopción de prácticas sustentables en la preparación del suelo y siembra de caña de azúcar mejora la productividad y reduce el impacto ambiental. Destacan enfoques como: el análisis de corrección de suelo, uso de semilla artificial los cuales aumentan la eficiencia de la siembra, y el uso lodos compostados que disminuyen la dependencia de fertilizantes minerales, promoviendo una agricultura más sustentable (Silva et al. 2024; Zhoa et al., 2024; Salgado et al., 2019).
Aplicación de fertilizantes	En el cultivo de caña de azúcar, los fertilizantes más utilizados son la urea, que aporta un 46% de nitrógeno y es preferida por su alta concentración y bajo costo, el fosfato monoamónico (MAP) y el fosfato diamónico (DAP), que proporcionan fósforo y nitrógeno esenciales para el desarrollo radicular y maduración; y el cloruro de potasio (KCl), fuente clave de potasio, necesario para la síntesis de azúcares y resistencia a enfermedades. Su uso inadecuado puede tener serias consecuencias	La utilización de fertilizantes orgánicos en el cultivo de caña de azúcar permite disminuir el daño generado al ambiente mejorando el suelo, aprovechando residuos orgánicos, reduciendo la contaminación, entre otros beneficios. Los más utilizados son el compost orgánico, la vermicomposta, los biofertilizantes microbianos y los residuos procesados de la caña, como el bagazo y la cachaza compostada. Sin embargo, podemos encontrar limitaciones relevantes como la liberación lenta de

	<p>ambientales, como la contaminación de cuerpos de agua por lixiviación de nitrógeno y fósforo, la emisión de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (N₂O), y la degradación del suelo debido a alteraciones en su estructura y microbiota (Bejarano et al., 2019; CONADESUCA 2015; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2024).</p>	<p>nutrientes y la variabilidad en la calidad (Oshi et al., 2014; Méndez et al., 2015; Sanclemente et al., 2015).</p>
<p>Aplicación de plaguicidas Insecticidas y herbicidas.</p>	<p>A nivel internacional el cultivo de caña de azúcar utiliza plaguicidas, insecticidas y herbicidas químicos, los cuales se aplican principalmente para el control de insectos plaga y malezas durante distintas etapas del crecimiento del cultivo, dentro de los cuales se encuentran el carbofurán, monocrotofós, 2,4-D y atrazina por su eficacia y bajo costo. Sin embargo, su uso genera contaminación ambiental, afecta la salud humana y de fauna silvestre provocando enfermedades en el sistema nervioso, daña la biodiversidad del suelo. Además, pueden provocar resistencia en plagas y contaminar cuerpos de agua (pinto et al., 2023; Hernández-Acosta et al., 2013; Oliveira et al., 2022).</p>	<p>El manejo sustentable de plagas en la caña de azúcar se basa en la reducción del uso de plaguicidas, insecticidas y herbicidas químicos, mediante la implementación de controladores biológicos como <i>Trichogramma</i> spp., que son efectivos contra plagas como el barrenador, y hongos entomopatógenos como <i>Beauveria bassiana</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i>, los cuales controlan insectos de manera natural sin dañar la biodiversidad. Así mismo, el uso de biopesticidas ha crecido como una alternativa más sostenible, impulsado por el desarrollo de nuevos compuestos naturales y el avance de tecnologías como la nanotecnología, que mejora la eficacia de estos productos. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la adopción generalizada de biopesticidas enfrenta limitantes importantes, como regulaciones estrictas y la</p>

		falta de seguimiento y conocimiento adecuados sobre su aplicación y manejo en el campo. (Moursi et al., 2020; Zhou et al., 2023; Damalas et al., 2018).
Cosecha de la caña de azúcar	Antes del corte manual de caña, se realiza una quema inicial del cañaveral para eliminar el follaje seco y facilitar el acceso a los trabajadores. Los cortadores usan machetes para cortar los tallos desde su base, separando las hojas verdes y las puntas. Luego, los tallos se alinean en pilas de aproximadamente 300 kg. Posteriormente, un cargador mecánico transfiere las pilas a vehículos de transporte para llevarlas al ingenio; (Arroniz et al. 2013; Wirawat Chaya, 2024).	La cosecha sin quema de caña de azúcar puede ser de forma manual o mecánica, lo cual requiere ajustar las prácticas agronómicas para garantizar su eficacia. Este enfoque elimina la quema del cañaveral, disminuyendo los impactos negativos en el ambiente, la salud de las personas y la calidad de vida de las comunidades cercanas; (Fukushima et al. 2009; Mellizo Ruiz, 2021; Chipfupa et al., 2024).
Transporte de la caña de azúcar a la empresa	El transporte de la caña de azúcar en una cadena de suministro tradicional genera impactos ambientales significativos, principalmente por el uso intensivo de camiones de carga que funcionan con combustibles fósiles. Estos vehículos emiten gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO ₂) y óxidos de nitrógeno (NO _x), lo que contribuye al cambio climático y a la contaminación del aire. Además, el tráfico pesado en zonas rurales puede	En este proceso se proponen estrategias para lograr un transporte más sustentable, como la optimización logística, el uso de biocombustibles, vehículos eléctricos, rutas más eficientes, y tecnologías de monitoreo que mejoran la eficiencia energética. También destacan la necesidad de políticas públicas y cooperación entre productores, transportistas y empresas para reducir la huella ambiental del sector cañero, sin embargo, se han presentado barreras como la falta de

	<p>causar compactación del suelo, aumento de la erosión y deterioro de caminos, afectando ecosistemas cercanos. La logística tradicional también presenta ineficiencias debido a rutas largas y transporte de bajo volumen por unidad, lo que incrementa aún más las emisiones y los costos operativos (Rodrigues & Machado, 2023; Silva et al., 2018; Malanski & Lima, 2021).</p>	<p>presupuesto económico, la falta de logística, entre otros. (López-Milán et al., 2014; Barbosa et al., 2019; Santos et al., 2023).</p>
<p>Producción de azúcar</p>	<p>La producción de azúcar en los ingenios azucareros implica una serie de etapas que transforman la caña de azúcar en el producto final. Estas etapas incluyen la recepción y limpieza de la caña, la extracción del jugo mediante molienda, la clarificación del jugo para eliminar impurezas, la evaporación para concentrar el jugo, la cristalización del azúcar, la separación de los cristales mediante centrifugación, y finalmente, el secado y empaque del azúcar. Teniendo como ventaja principal la generación de empleos en las regiones donde se cultiva la caña además de la reutilización de subproductos, sin embargo, también genera un impacto significativo al</p>	<p>En los ingenios azucareros, la implementación de procesos sustentables es fundamental para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia operativa. Uno de los principales avances es la cogeneración de energía a partir del bagazo, un residuo fibroso de la caña que se utiliza como biocombustible para producir vapor y electricidad, lo que permite que muchos ingenios sean energéticamente autosuficientes. Además, se han adoptado sistemas avanzados para el tratamiento de aguas residuales, como la digestión anaerobia y los biorreactores de membrana, que permiten disminuir la carga contaminante y reutilizar el agua tratada en los procesos internos. También se promueve el aprovechamiento de subproductos como la melaza,</p>

	<p>ambiente (Bezuidenhout et al., 2012; Lenis Bedoya et al., 2013; Solomon, S. 2016)</p>	<p>usada para producir etanol; la cachaza, empleada como fertilizante; y las cenizas, que pueden utilizarse en la agricultura o la construcción. Otro aspecto clave es la reducción del uso de combustibles fósiles, sustituidos por fuentes renovables como el bagazo o el biogás. Finalmente, los ingenios más avanzados incorporan sistemas de monitoreo ambiental y certificaciones como ISO 14001 o Bonsucro, que garantizan el cumplimiento de estándares sostenibles a lo largo del proceso productivo (Zorpas et al., 2023; Ramos et al., 2019; Wike, 2019).</p>
<p>Empacado y distribución de producto terminado</p>	<p>Actualmente en la mayoría de las empresas a nivel internacional se realiza el proceso de empacado de azúcar terminada en costales de polipropileno tejido, el cual en ocasiones es reutilizable dependiendo de su estado físico, en lo que corresponde a la distribución se entrega el producto de acuerdo con el requerimiento de cada cliente (Amado, 2008; Valdez et al. 2022).</p>	<p>Los procesos de empacado y distribución de azúcar están evolucionando mediante la incorporación de materiales biodegradables derivados de residuos de la caña, como el bagazo y la melaza. Estos se transforman en biopolímeros con propiedades antimicrobianas y antioxidantes. lo que reduce el uso de plásticos y las emisiones contaminantes. Además, los empaques inteligentes y reutilizables mejoran la trazabilidad, extienden la vida útil del producto y reducen el desperdicio. El uso de pulpa moldeada reciclada para envases alimentarios también</p>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

		promueve la economía circular y reemplaza el plástico de un solo uso (Nagarajan et al., 2022; Silva et al., 2022).
--	--	--

8.3 Matriz de Leopold del análisis de ciclo de vida.

De los 35 aspectos ambientales evaluados, se identificó que 19 se encuentran dentro de la clasificación de severos y críticos, evidenciando un potencial daño ambiental significativo. Estos 19 no se concentraron en una sola etapa, sino que se distribuyeron a lo largo de cinco de las siete actividades analizadas dentro de la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar.

Esta distribución indicó que el impacto ambiental no es exclusivo de una fase del proceso, sino que está presente en diferentes eslabones de la cadena. En particular, se observó que estas cinco actividades presentan un uso elevado de recursos, una generación considerable de residuos incluyendo residuos peligrosos y contribuyen de manera relevante a la contaminación del aire, del suelo y del agua.

Lo que nos permitió identificar cuáles son los puntos más críticos dentro de la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar, es decir, en qué actividades se generan los mayores daños al ambiente. Por ello, a continuación, en la tabla 8.2 se presentan los aspectos de las actividades donde se detectaron los mayores daños, valores obtenidos y tipo de daño de acuerdo con el color.

Tabla 8.2 Impactos generados.

Actividad	Aspecto con impacto	VALOR
Aplicación de fertilizantes	1.-Residuos peligrosos: Uso de agroquímicos	59
	2.-Aire: generación de gases tóxicos.	55
	3.-Ambiente: Contaminación de suelo.	61
	4.-Ambiente: Contaminación de agua.	56
Aplicación de plaguicidas (insecticidas, pesticidas y herbicidas).	5.-Residuos peligrosos: Uso de agroquímicos	59
	6.-Aire: generación de gases tóxicos.	55
	7.-Ambiente: Contaminación de suelo.	61
	8.-Ambiente: Contaminación de agua.	56
Quema y cosecha de la caña de azúcar.	9.-RSU: Generación de residuos orgánicos.	57
	10.-Aire: Generación de gases tóxicos.	66
	11.-Ambiente: Contaminación atmosférica.	70
Transporte de la caña a la empresa.	12.-Recursos: Consumo de combustible fósil y aceite.	52
	13.-Aire: Generación de gases tóxicos.	70
	14.-Ambiente: contaminación atmosférica.	70
Producción de azúcar.	15.-Recursos: Consumo de combustible fósil y aceite.	52

	16.-Agua: Generación de aguas residuales.	57
	17.-Residuos: Residuos sólidos urbanos	51
	18.-Aire: Gases tóxicos.	55
	19.-Ambiente: Contaminación atmosférica.	61

8.3.1 Descripción de impactos.

En el análisis de la cadena de suministro para la producción de azúcar, con base a los datos obtenidos en la matriz de perspectiva de ciclo de vida, se identificaron actividades cuyas interacciones con los aspectos ambientales alcanzan valores entre 51 y 75, los cuales están representados con el color naranja. Este rango indica un nivel de impacto ambiental severo, lo cual amerita especial atención por sus efectos acumulativos y persistentes en el entorno.

Los efectos negativos derivados de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas se reflejan principalmente en la generación de residuos peligrosos debido a los compuestos químicos utilizados que a pesar de estar dentro de los límites permisibles crean un severo daño por la incorrecta utilización, la contaminación del suelo y agua por escorrentía de los residuos generados de agroquímicos utilizados, así como, la producción de gases tóxicos que son desprendidos al momento de su aplicación y emiten partículas al aire. Como se pudo observar, estas consecuencias no solo afectan los ecosistemas locales, sino que también comprometen la salud humana y la resiliencia ambiental a largo plazo.

Por otro lado, en las actividades de quema y cosecha de la caña, generan impactos en aspectos como la generación de residuos orgánicos, provocados por el hollín y trozos de caña, por su parte, el transporte de la caña de azúcar a la empresa genera impactos en el uso de recursos como la utilización de combustibles fósiles debido a los altos consumos de los camiones. Estas actividades tienen en común dos aspectos en los que se observan impactos como la generación de gases tóxicos, siendo la primera debido a la quema de la caña para ser cosechada y la segunda por el humo emitido de los camiones que no se encuentran en condiciones óptimas, el otro aspecto en común es el de la contaminación atmosférica derivada de las emisiones de GEI.

Por último y muy importante es la producción de azúcar la cual representa impactos en aspectos como el uso de recursos como consumo aceites esto se produce debido al

funcionamiento de la maquinaria, la generación de aguas residuales es un aspecto muy importante, ya que a pesar de contar con plantas de tratamiento de aguas residuales no es suficiente, otro aspecto evaluado es la generación residuos sólidos urbanos en gran parte por los trabajadores de la empresa, por último, la generación de gases tóxicos es otro aspecto que trae como consecuencia la contaminación del ambiente.

Por lo tanto, el color naranja actúa como un indicador de alerta para priorizar intervenciones sostenibles en estos puntos críticos de la cadena. Implementar prácticas agroecológicas, optimizar el uso de insumos y modernizar los sistemas de transporte son pasos necesarios para mitigar estos impactos y avanzar hacia una cadena de suministro más sustentable en el sector azucarero. En la figura 8.1 se observan las actividades con mayor número de aspectos que presentan un nivel de afectación severo.

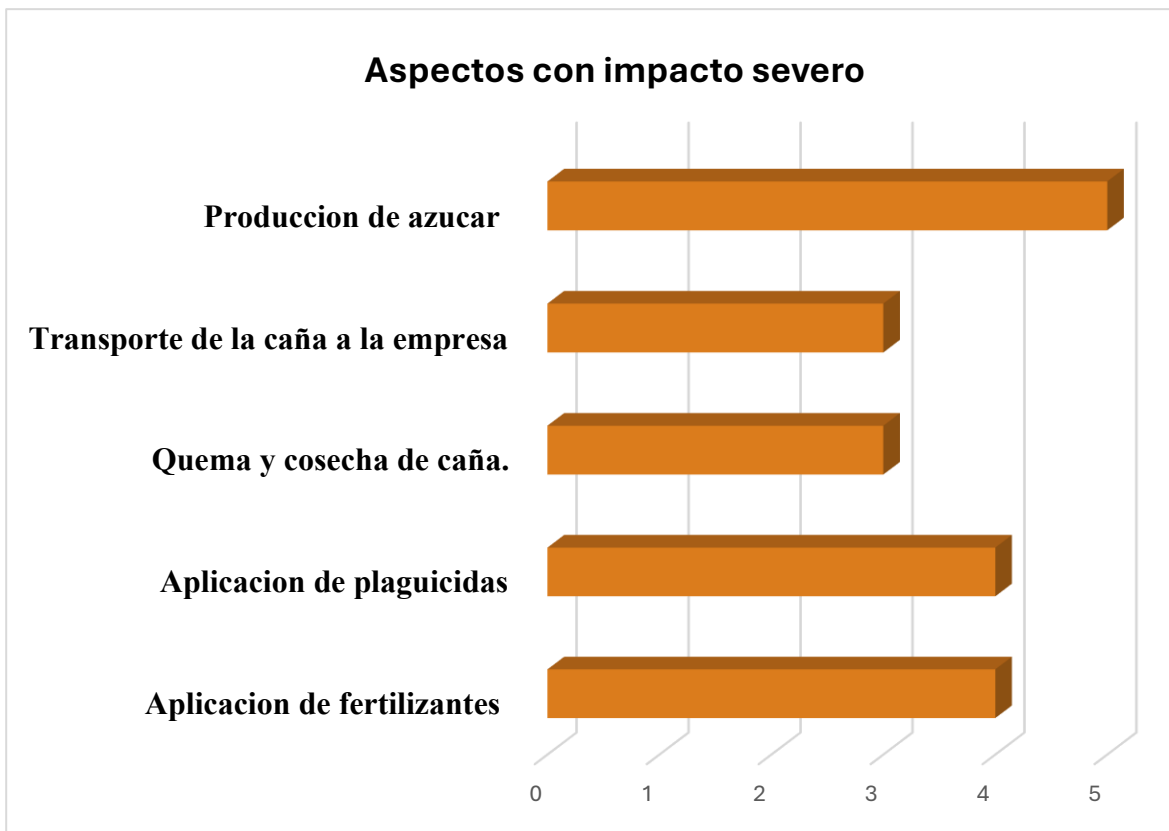


Figura 8.1 Aspectos con impacto severo

8.4 Validación de encuesta.

Se presentaron los resultados preliminares de una encuesta de sustentabilidad diseñada para evaluar los tres pilares fundamentales del desarrollo sustentable: el económico, el social y el ambiental. Esta se aplicó al personal del corporativo BSM en las dos sucursales ubicadas en el estado de Morelos, una en el municipio de Zacatepec y la otra en Cuautla, la primera lleva por nombre Corporativo Emiliano Zapata y la segunda Corporativo Casasano. Su principal objetivo es analizar el desempeño de las empresas en estos ámbitos clave, permitiendo identificar fortalezas, áreas de oportunidad y aspectos por mejorar, con el fin de alinear sus operaciones con los principios de la sustentabilidad. El diseño de la encuesta fue revisado y validado por expertos en el tema.

La encuesta se estructuró en tres dimensiones: económica, ambiental y social, compuestas por 11, 20 y 10 preguntas, respectivamente. Además, se enfoca en cuatro aspectos clave: percepción, nivel de cumplimiento, importancia y posibilidad de mejora, lo que permite obtener una visión integral sobre cómo se vive y se gestiona la sustentabilidad dentro de las organizaciones. En la tabla 8.3 se observan las opciones de respuesta.

Tabla 8.3 Opciones de respuesta

A	B	C	D
No aplica nunca en ninguna área de la empresa.	Aplica algunas veces en algunas áreas de la empresa	Aplica siempre en algunas áreas de la empresa.	Aplica siempre para toda la empresa.

8.5 Aplicación e interpretación de resultados de la encuesta

En las encuestas realizadas en los ingenios Emiliano Zapata y Casasano de la empresa Beta San Miguel, ambos ubicados en el estado de Morelos, se obtuvieron los siguientes resultados de los aspectos relacionados con la dimensión económica.

Ambas sucursales mostraron buena confiabilidad en sus procesos y capacidad de respuesta en la entrega del producto, en Emiliano Zapata se cumple en todas las áreas y en Casasano solo en algunas. En la capacidad de adaptación a la demanda ocurrió lo contrario: Casasano responde en todas las áreas, mientras que Emiliano Zapata lo hace parcialmente; sin embargo, ambas se ajustaron.

a las necesidades del cliente. En cuanto al rendimiento financiero, los costos de materia prima y entrega son similares y competitivos en ambas sucursales, pero en los costos de producción destaca Emiliano Zapata con mejores resultados en todas las áreas. Finalmente, en términos de calidad, las dos sucursales satisfacen de manera constante las necesidades del cliente.

Los resultados se acompañan de una gráfica comparativa que facilita la interpretación de los aspectos evaluados y permite observar el desempeño de cada empresa en este ámbito, como se muestra en la siguiente figura 8.2.

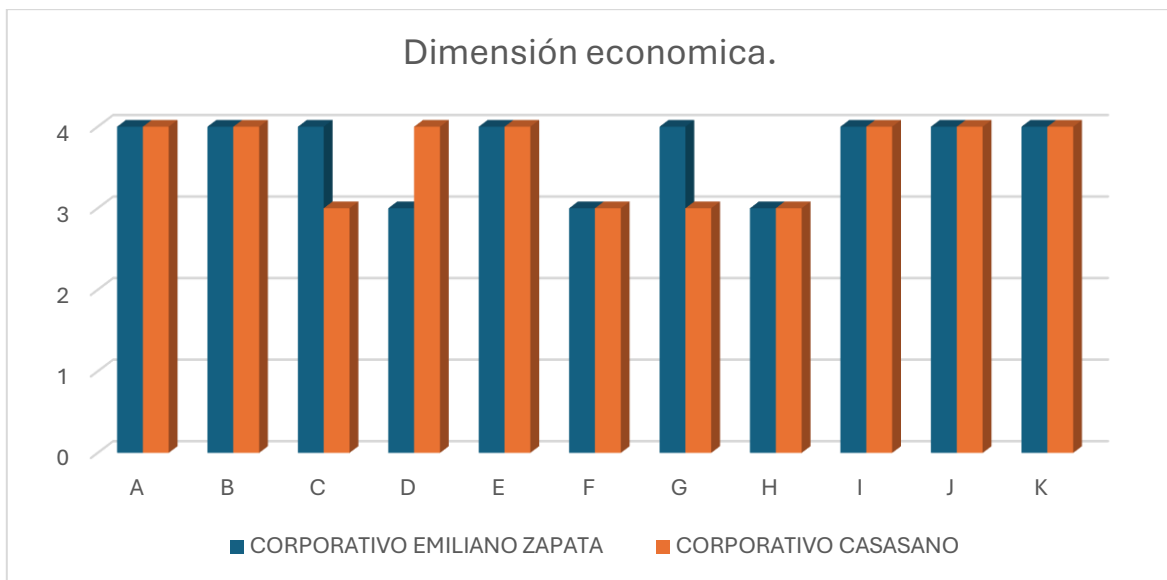


Figura 8.2 Dimensión económica.

Ítems

- A) Proveedores confiables
- B) Demanda confiable
- C) Capacidad de respuesta
- D) flexibilidad a la demanda
- E) Necesidades del cliente

- F) Costos de materia prima
- G) Costos de producción
- H) Costos de entrega
- I) Calidad de productos
- J) Calidad de proveedores
- K) Calidad en procesos.

La dimensión ambiental analizó el desempeño de los ingenios en el uso responsable de los recursos, el control de emisiones y el cumplimiento de medidas de protección hacia el entorno

natural y la comunidad. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los corporativos Emiliano Zapata y Casasano.

En términos generales, ambas empresas muestran un esfuerzo por cumplir con los principales requisitos ambientales en sus operaciones. Casasano cuenta con certificaciones en algunas áreas y, al igual que Emiliano Zapata, mantiene un manejo adecuado en cuanto a descargas y contaminación de aguas subterráneas, presentándose siempre en algunas áreas. Ambas plantas disponen de sistemas de tratamiento, aunque siguen generando emisiones, ruido y olores, además de enfrentar riesgos por el manejo de sustancias peligrosas, lo que deja en evidencia la necesidad de fortalecer sus protocolos de seguridad. Finalmente, Emiliano Zapata muestra un mejor desempeño en la protección ambiental, mientras que Casasano cumple parcialmente con las acciones de conservación y de integración con su entorno, ambas cumplen siempre en algunas áreas la sobrevivencia de especies nativas de la región.

En la figura 8.3 Se observa el comportamiento del corporativo Emiliano Zapata y corporativo Casasano relacionado a las cuestiones ambientales dentro de la empresa.

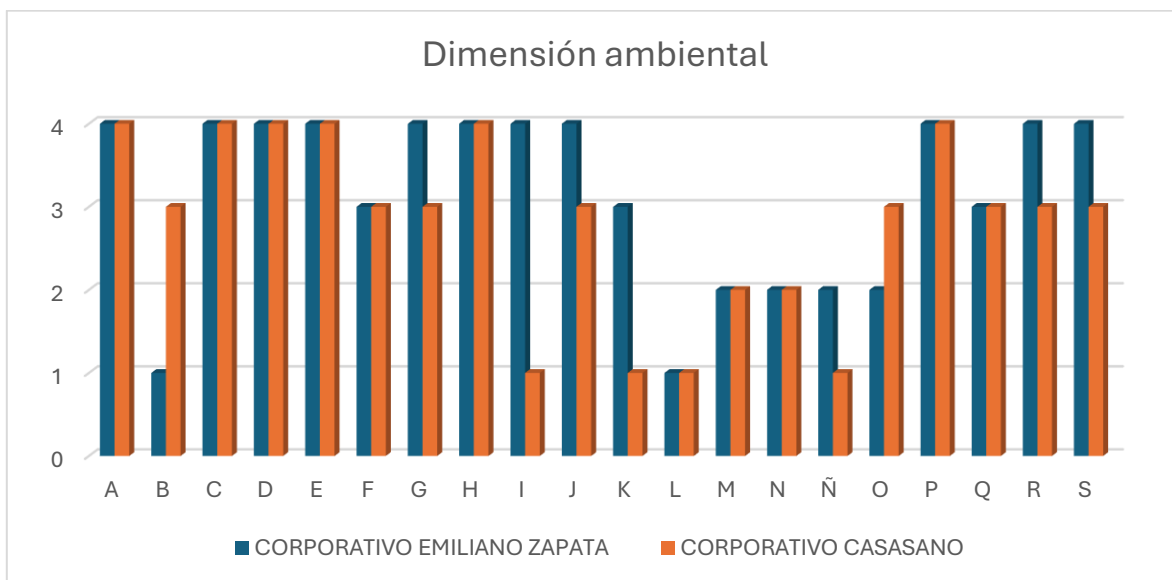


Figura 8.3 Dimensión ambiental.

Ítems

- A) Presupuesto ambiental
- B) Certificación ambiental
- C) Requerimientos gubernamentales
- D) Participación de trabajadores

- E) Uso de energía limpia
- F) Planta de tratamiento de agua
- G) Uso de materiales reciclados
- H) Reutilización de desechos
- I) Reciclaje de productos fabricados

- | | |
|---------------------------------------|--|
| J) Emisión de gases contaminantes | O) Producción de residuos peligrosos |
| K) Descarga de contaminantes en aguas | P) Procuración de entorno natural |
| L) Derrame de contaminantes al suelo | Q) Supervivencia de especies |
| M) Generación de ruido y olores | R) Protección de reservas naturales |
| N) Uso de materia prima peligrosa | S) Participación desarrollo rural y urbano |
| Ñ) Generación de producto peligroso | |

En la dimensión social se analiza cómo las empresas gestionan aspectos relacionados con las condiciones laborales, los derechos humanos y su compromiso con la comunidad. En este contexto, las condiciones de trabajo en ambos corporativos son satisfactorias, destacando Emiliano Zapata por su promoción del bienestar integral de los empleados. Respecto a los derechos humanos básicos, ambas empresas cumplen con la equidad en los procesos de contratación, mientras que Casasano sobresale en la representación sindical. En cuanto al compromiso con la sociedad, Emiliano Zapata evidencia un desempeño destacado, mientras que Casasano mantiene una participación positiva, aunque ligeramente inferior en algunas acciones comunitarias.

La figura 8.4 muestra la comparación del desempeño de los corporativos Emiliano Zapata y Casasano en la dimensión social.

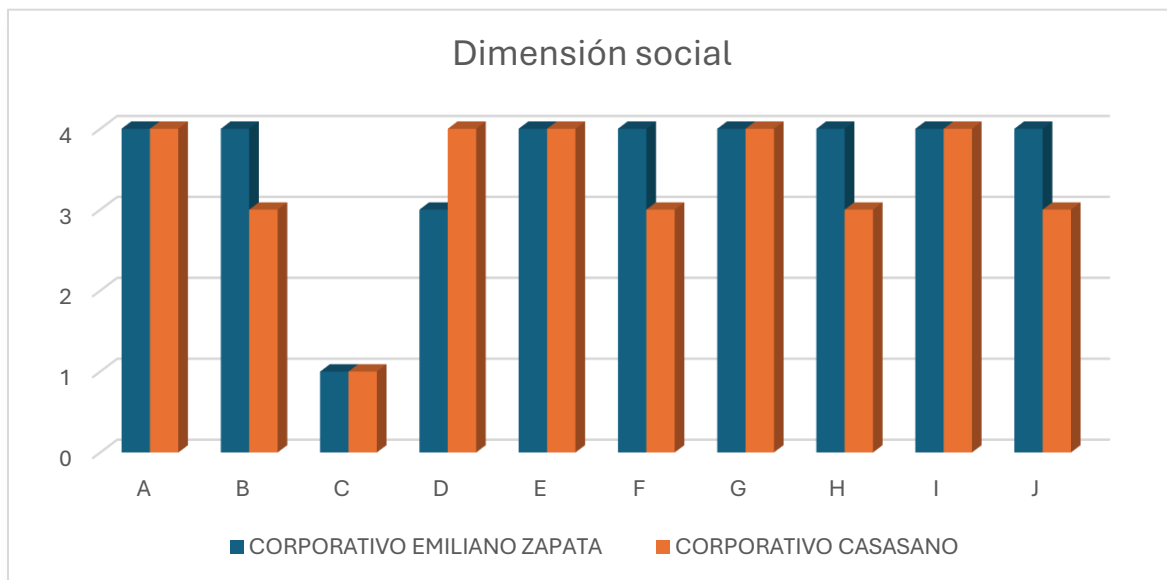


Figura 8.4 dimensión social.

Ítems

- | | |
|---------------------------------------|--|
| A) Buenas condiciones de trabajo | B) Prevención de accidentes |
| C) Contratación de menores de 14 años | D) Formación de sindicatos |
| E) Políticas de contratación | F) Asociación con organizaciones locales |
| G) Fomentar educación y cultura | H) Creación de empleo en área local |
| I) Fomentar la salud comunitaria | J) Mejorar condiciones de vida local |

8.6 Propuesta de Cadena de Suministro.

A continuación, se presenta la propuesta de una cadena de suministro sustentable para la caña de azúcar, desarrollada como resultado de una revisión bibliográfica y de la elaboración de un cuadro comparativo. Esta describe las acciones de mejora a implementar en las etapas clave del proceso, que incluyen: preparación de suelo y siembra, fertilización, control de plagas, cosecha, transporte, producción y empaque y distribución. Cada etapa se evalúa considerando sus impactos y mejoras en tres dimensiones fundamentales: ambiental, económica y social.

1. Preparación de suelo y siembra.

Acciones: análisis de suelos, uso de semillas de alta germinación y aplicación de lodos compostados como mejoradores del suelo.

Mejora de dimensiones:

Ambiental: reduce la degradación del suelo y disminuye el uso de químicos.

Económica: incrementa la productividad desde el inicio al asegurar un suelo fértil.

Social: fomenta la capacitación técnica de los agricultores en prácticas modernas.

2. Fertilización

Acciones: sustitución de fertilizantes químicos por compost, biofertilizantes y aprovechamiento de residuos de la caña como insumos.

Mejora de dimensiones:

Ambiental: disminuye la contaminación de aguas y suelos por exceso de químicos.

Económica: aprovecha subproductos, reduciendo costos en la compra de fertilizantes externos.

Social: fortalece prácticas locales de economía circular al reutilizar residuos.

3. Control de plagas.

Acciones: aplicación de biopesticidas y uso de controladores biológicos en lugar de agroquímicos sintéticos.

Mejora de dimensiones:

Ambiental: evita emisiones de sustancias tóxicas y protege la biodiversidad.

Económica: reduce la dependencia de agroquímicos importados.

Social: protege la salud de los trabajadores y de las comunidades cercanas.

4. Cosecha.

Acciones: adopción de la cosecha verde (manual o mecanizada sin quema).

Mejora de dimensiones:

Ambiental: elimina la quema de caña, reduciendo emisiones de CO₂ y contaminantes atmosféricos.

Económica: mejora la eficiencia del proceso al aprovechar residuos como rastrojo para energía o composta.

Social: disminuye problemas respiratorios en comunidades cercanas y mejora la seguridad laboral.

5. Transporte.

Acciones: uso de vehículos eléctricos o con biocombustibles y optimización de rutas de traslado.

Mejora de dimensiones:

Ambiental: reduce la huella de carbono en la logística.

Económica: ahorro en combustible por rutas más eficientes y tecnologías renovables.

Social: menos contaminación del aire en comunidades rurales cercanas a los ingenios.

6. Producción

Acciones: cogeneración de energía con bagazo de caña, uso de biorreactores para tratar aguas residuales y valorización de subproductos (melaza, vinaza, bioetanol).

Mejora de dimensiones:

Ambiental: disminuye la contaminación hídrica y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Económica: diversifica fuentes de ingreso con bioenergía y derivados de la caña.

Social: genera empleos en nuevas áreas (bioenergía, tratamiento de residuos).

7. Empaque y distribución

Acciones: uso de empaques biodegradables, reciclados o reutilizables, con sistemas de trazabilidad digital.

Mejora de dimensiones:

Ambiental: disminuir residuos plásticos y contaminación por envases.

Económica: permite acceder a mercados internacionales que exigen empaques sustentables.

Social: aumenta la confianza del consumidor y la transparencia en el origen del producto.

9. Discusión

En la dimensión económica ambas sucursales mantienen una buena confiabilidad en sus procesos y capacidad de respuesta en la entrega del producto. En el Corporativo Emiliano Zapata se refleja en todas las áreas, mientras que en Casasano se limita a algunas. Este hallazgo coincide con lo señalado por Seuring y Müller (2008), quienes destacan que la confiabilidad en la cadena de suministro es un factor clave para la sostenibilidad de las operaciones. Asimismo, Ignacio Pires y Carretero Díaz (2007) mencionan que una gestión eficiente de los procesos garantiza estabilidad en los resultados y genera confianza.

En cuanto a la capacidad de adaptación a la demanda, se observa un contraste: Casasano responde en todas sus áreas, mientras que Emiliano Zapata lo hace de manera parcial. Esto se relaciona con lo planteado por Ruiz-López (2024), quien resalta que la flexibilidad es esencial para responder a un entorno cambiante, y con lo discutido por Ferrer (2024), quien considera que la capacidad de adaptación permite aprovechar las oportunidades del mercado y minimizar riesgos asociados a la volatilidad de la demanda.

En el rendimiento financiero, ambas empresas presentan costos similares y competitivos en materia prima y entrega, Emiliano Zapata destaca en la eficiencia de sus costos de producción. Esto coincide con lo expresado por Scarpari (2008) en Brasil, al señalar que la optimización de los costos en los procesos agrícolas e industriales de la caña de azúcar incide directamente en la rentabilidad del sector. Sabadi et al. (2019), destacan que la gestión adecuada de los recursos financieros en la agroindustria azucarera es determinante para mantener la competitividad en mercados locales e internacionales.

Finalmente, en relación con la calidad, se encontró que ambas sucursales logran satisfacer de manera constante las necesidades del cliente. Este resultado está en línea con lo planteado por Palma et al. (2018) en Tabasco, México, quienes resaltan que el cumplimiento de estándares de calidad es fundamental para garantizar la aceptación del producto en el mercado. De manera complementaria, Bejarano Herrera et al. (2022), en un estudio realizado en Brasil, señalan que la innovación y la eficiencia en el uso de recursos contribuyen a mantener altos niveles de calidad en la producción de caña y sus derivados. Comparando estos hallazgos con el caso de los ingenios Emiliano Zapata y Casasano en Morelos, se observa que ambos cumplen con la satisfacción de sus clientes, aunque el reto hacia el futuro será incorporar prácticas de innovación y sostenibilidad que aseguren mantener esta calidad en un mercado cada vez más competitivo.

En resumen, los hallazgos evidencian fortalezas en ambas sucursales, aunque con diferencias específicas en confiabilidad, adaptación, rendimiento financiero y calidad. Estas diferencias coinciden con lo señalado en la literatura, donde se destaca la importancia de integrar prácticas eficientes y sostenibles que permitan mantener la competitividad del sector azucarero en el largo plazo tanto en clientes como en proveedores.

La evaluación ambiental en los ingenios Emiliano Zapata y Casasano muestra avances importantes, aunque con diferencias en el manejo de recursos, emisiones y riesgos ambientales, por lo tanto, persisten retos que limitan un desempeño plenamente sostenible.

En términos de administración ambiental, Casasano cuenta con certificaciones en algunas áreas, mientras que Emiliano Zapata mantiene sistemas de gestión más integrales en todas sus áreas productivas. Vinueza Salazar (2025), en un estudio desarrollado en Ecuador, destaca que integrar la sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro no solo asegura el cumplimiento legal, sino que también impulsa la adopción de prácticas proactivas que minimizan los impactos ambientales, optimizan el uso de recursos y fortalecen la responsabilidad social corporativa. De manera complementaria, Barroquela et al. (2022), en una investigación aplicada a ingenios de Argentina, señala que los planes de gestión ambiental bien estructurados permiten reducir emisiones, controlar residuos y mejorar tanto la eficiencia operativa como la competitividad.

Al comparar estos hallazgos con la situación en México, se observa que los ingenios de Morelos enfrentan retos similares, ya que, si bien Casasano avanza en certificaciones, aún requiere consolidar un mejor sistema como el de Emiliano Zapata. Esto demuestra que la experiencia de otros países de América Latina puede servir de referencia para fortalecer las estrategias de gestión ambiental en los ingenios mexicanos, especialmente en lo relacionado con monitoreo constante, capacitación del personal e incorporación de indicadores de sostenibilidad en todas las fases productivas.

Respecto al uso de recursos, ambos ingenios cuentan con plantas de tratamiento y un manejo adecuado de descargas de aguas subterráneas, aunque aún existe margen de mejora en la eficiencia hídrica. Garay Jacome et al. (2022), en un estudio realizado en la cuenca del Papaloapan en México, destacan que la huella hídrica es un indicador esencial para medir el consumo de agua en la producción de caña de azúcar, ya que permite identificar áreas críticas para implementar estrategias de ahorro y eficiencia en el uso de los recursos hídricos. Además, señalan que el análisis detallado de este indicador contribuye a la planificación sostenible de los sistemas de riego y a la mitigación de impactos sobre los ecosistemas locales. De manera complementaria, Montenegro Ballesteros et al. (2022), en su investigación desarrollada en Costa Rica, menciona que el análisis de ciclo de vida

(ACV) permite evaluar el uso integral de recursos, la generación de residuos y las emisiones en cada etapa de la producción, constituyendo una herramienta estratégica para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de los ingenios. Al comparar estos hallazgos con la situación en Morelos, se observa que los ingenios Casasano y Emiliano Zapata pueden fortalecer su desempeño al incorporar de manera sistemática indicadores como la huella hídrica y metodologías como el ACV, siguiendo ejemplos aplicados en otros contextos de América Latina.

En relación con la contaminación, Emiliano Zapata presenta emisiones más frecuentes y extendidas que afectan el aire, generan ruido y olores, mientras que Casasano tiene impactos más localizados. Omwoma et al. (2014), cita que la expansión de la producción de caña de azúcar incrementa la presión sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres, afectando la biodiversidad y la calidad de los recursos hídricos. CONADESUCA (2015) advierte que descargas no tratadas, residuos sólidos y efluentes industriales pueden deteriorar la calidad del agua y del suelo, impactando negativamente la salud de la comunidad y la sostenibilidad del entorno. Los hallazgos de estos autores refuerzan la necesidad de implementar sistemas de monitoreo ambiental más rigurosos y estrategias preventivas para reducir emisiones y mejorar la calidad ambiental de los ingenios.

En residuos tóxicos, los ingenios de Emiliano Zapata y Casasano enfrentan riesgos por el manejo de materias primas, productos y residuos peligrosos en algunas áreas. Damalas et al. (2018), en su estudio en Grecia, advierten que el uso inadecuado de agroquímicos y pesticidas pone en riesgo la salud de trabajadores y comunidades, lo que obliga a implementar protocolos de seguridad y equipos de protección adecuados. De manera similar, Vallejo Campo (2016), en Colombia, señala que una gestión deficiente de estos insumos puede derivar en impactos sociales, ambientales y económicos negativos.

Comparado con la situación en Morelos, ambos ingenios coinciden con lo señalado por los autores, ya que aún presentan riesgos por sustancias peligrosas y requieren reforzar sus protocolos de seguridad y medidas preventivas. Sin embargo, se observa que, mientras países como Grecia y Colombia han identificado y documentado ampliamente estas problemáticas, en los ingenios mexicanos todavía existen vacíos en la implementación sistemática de planes de seguridad y monitoreo ambiental.

Finalmente, en cuanto al entorno natural, el ingenio Emiliano Zapata muestra una mayor capacidad de conservación e integración con la comunidad, mientras que Casasano cumple de manera parcial. En un estudio realizado en Brasil, Manzini Poli et al. (2022) destacan que la valorización de residuos, como el bagazo de caña, permite disminuir emisiones de CO₂, reducir la contaminación y generar bioproductos que fortalecen tanto la sostenibilidad ambiental como la económica. De manera complementaria, Montenegro Ballesteros et al. (2022), en Costa Rica, evidencian que la aplicación de un enfoque de ciclo de vida en la producción de caña ayuda a conservar ecosistemas, optimizar el uso de recursos y establecer indicadores claros para evaluar el desempeño ambiental de los ingenios.

Comparado con la situación actual de los ingenios en Morelos, estas investigaciones coinciden en que la sostenibilidad no depende únicamente del cumplimiento básico de normativas, sino de estrategias que incluyan el aprovechamiento de residuos, la protección de los ecosistemas y la colaboración con la comunidad. Mientras que Emiliano Zapata ya refleja un mayor compromiso en estas áreas, Casasano todavía muestra limitaciones que sugieren la necesidad de adoptar prácticas más alineadas con los enfoques sostenibles aplicados en otros países.

La evaluación de la dimensión social en los ingenios Emiliano Zapata y Casasano muestra que ambos cumplen satisfactoriamente en condiciones laborales, derechos humanos y compromiso con la comunidad, aunque con diferencias en cada apartado.

En el ámbito laboral, Emiliano Zapata destaca por promover el bienestar integral de sus empleados, lo que coincide con lo reportado en São Paulo, Brasil, por Ribeiro et al. (2023), quienes señalan que la modernización y las medidas de salud ocupacional mejoran significativamente la calidad de vida de los trabajadores en la industria azucarera; sin embargo, Silva et al. (2019), en un estudio que abarcó varios países de América Latina, advierten que persisten riesgos asociados a la sobrecarga y exposición a condiciones extremas, lo que subraya la necesidad de fortalecer medidas preventivas en Morelos. Comparado con estas regiones, Emiliano Zapata presenta una implementación más consistente de medidas de bienestar, mientras que Casasano muestra variabilidad entre áreas.

Respecto a los derechos humanos, ambos ingenios cumplen con la equidad en contratación y Casasano sobresale en representación sindical, en línea con lo planteado por Micheletti et al. (2016) en Suecia, quienes destacan que la participación laboral fortalece la legitimidad empresarial. Sin embargo, López Sandoval et al. (2021) advierten que en México todavía existen brechas entre la norma y la práctica, lo que indica que los ingenios de Morelos han logrado avances, pero requieren seguimiento constante para garantizar la equidad real.

Finalmente, en cuanto al compromiso con la comunidad, el corporativo Emiliano Zapata evidencia un mayor nivel de integración, mientras que Casasano presenta una participación más limitada. Esto coincide con lo señalado por Filho et al. (2023) en Brasil, donde la industria azucarera ha adoptado prácticas de responsabilidad social y sostenibilidad que fortalecen la relación con las comunidades locales y generan beneficios compartidos. De manera similar, Rosales et al. (2024), en un estudio realizado en Campeche, México, destacan que la implementación de indicadores de sostenibilidad en la producción de caña de azúcar permite evaluar y mejorar la interacción entre ingenios y comunidades, promoviendo mayor equidad y desarrollo social. Comparando estos hallazgos con el caso de Morelos, se observa que Emiliano Zapata refleja un compromiso comunitario más consolidado, mientras que Casasano aún enfrenta el reto de ampliar sus estrategias de integración social, pudiendo tomar como referencia los avances alcanzados tanto en Brasil como en otras regiones de México.

10. Conclusiones

El cuadro comparativo entre la cadena de suministro clásica y la sustentable de la caña de azúcar permitió identificar diferencias clave en cada etapa del proceso. Mientras la cadena clásica se basa en prácticas convencionales con altos impactos ambientales, la sustentable propone alternativas orientadas a reducir el uso de recursos, la contaminación y la generación de residuos.

La aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) evidenció que se presentan impactos ambientales en las etapas fertilización y control de plagas, quema durante la cosecha, transporte de materia prima y la producción industrial de azúcar. En estas fases se generan residuos peligrosos, emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación del agua y del suelo. Con base en la matriz de Leopold aplicada desde el enfoque del ACV, se concluye que la producción industrial de

azúcar constituye la actividad con mayor impacto ambiental, debido a la magnitud de residuos y emisiones generadas. Esta información resulta fundamental para orientar esfuerzos hacia una transición más responsable en el sector cañero.

La evidencia científica y la experiencia internacional indican que, para lograr una transición efectiva en México, es necesario incorporar prácticas como el uso de biofertilizantes y biopesticidas, la cosecha sin quema, el transporte con menor huella de carbono, el aprovechamiento energético del bagazo, la reutilización de subproductos y la adopción de empaques biodegradables. Estas estrategias no solo reducen impactos ambientales y sociales, sino que también fortalecen la competitividad del sector azucarero frente a estándares internacionales.

En cuanto a las dimensiones evaluadas, la ambiental resulta la más afectada debido a la persistencia de emisiones, el manejo inadecuado de residuos y sustancias peligrosas, así como a la limitada eficiencia en el uso de agua y energía. Para revertir esta situación se requiere implementar medidas como la reducción de emisiones y valorización de residuos, la modernización de sistemas de riego mediante la aplicación de la huella hídrica, la sustitución de agroquímicos por insumos biológicos, el aprovechamiento energético de subproductos y el fortalecimiento de programas de conservación e integración comunitaria.

El estudio confirma que la cadena de suministro de la caña de azúcar en México posee un alto potencial de reconversión hacia la sustentabilidad. Alcanzar este objetivo demanda un compromiso más sólido por parte de los ingenios, políticas públicas que incentiven la innovación y la inversión en tecnologías limpias, así como una mayor participación de productores, comunidades y consumidores en la transformación del sector. El análisis comparativo entre la cadena clásica y la sustentable evidencia que, aunque la primera sigue predominando en México, ya existen avances significativos hacia la implementación de procesos más responsables con el ambiente.

11. Perspectiva.

El análisis de la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar, desde un enfoque económico, considera los costos y beneficios que se generan en cada una de sus etapas, desde la producción hasta la distribución. Este permite evaluar la eficiencia en el uso de los recursos, la reducción de costos a largo plazo mediante prácticas sustentables y el impacto económico en productores,

empresas y comunidades. Así, se determina la viabilidad financiera del sistema, promoviendo un equilibrio entre rentabilidad, sostenibilidad ambiental y desarrollo social.

De manera específica en el proceso de la quema de la caña de azúcar la realización de estudios de costo–beneficio se puede llevar a cabo comparando los costos, beneficios económicos y ambientales de la quema de la caña de azúcar frente a prácticas alternativas. Para ello, se identifican y cuantifican los costos directos, como mano de obra, maquinaria y tiempo de cosecha, así como los costos indirectos asociados al deterioro del suelo, la contaminación del aire y los efectos en la salud. Posteriormente, estos se contrastan con los beneficios obtenidos, tanto a corto como a largo plazo, lo que permite determinar la opción más eficiente y sustentable para la producción de caña de azúcar.

Por otra parte, en el uso de empaques ecológicos el análisis costo beneficio permite comparar estos materiales frente a los empaques convencionales. Este análisis considera los costos de producción, adquisición y distribución, así como los beneficios económicos y ambientales asociados, como la reducción de residuos, la disminución del impacto ambiental y el fortalecimiento de la imagen del producto en el mercado. De esta manera, se puede determinar la viabilidad económica de los empaques ecológicos y su contribución a un sistema productivo más sustentable.

12. Cronograma de actividades

Actividades	Semestre			
	1	2	3	4
Revisión bibliográfica.				
Objetivos y planteamiento del problema.				
Justificación, estrategia y diseño experimental.				
Analizar los procesos de la cadena de suministro clásica de la caña de azúcar.				
Analizar los procesos de la cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar.				
Desarrollo de la metodología y presentación de resultados preliminares.				

Recaudar y analizar datos de la encuesta e implementación de matriz de perspectiva de ciclo de vida.				
Realizar la propuesta de una cadena de suministro sustentable de la caña de azúcar.				
Analizar resultados y conclusiones.				
Redacción del proyecto.				

13. bibliografía

Aguilar Rivera, N. (2014). Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Nova scientia*, 6(12), 125-161. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v6n12/v6n12a7.pdf>.

Aguilar-Rivera, N. (2017). Cadena de valor de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Agro Productividad*, 10(11). <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/70>

Amado, M. J. B. (2008). *Procedimientos y estándares en el proceso de envasado de azúcar a granel, a realizarse en el Ingenio Concepción, S.A. de Escuintla*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Arriaga, f. M. S., & Méndez, i. V. M. A. Diseño de un sistema para la mejora de la cadena de abastecimiento en el sector: industria azucarera, utilizando la herramienta: “MPS (master production schedule)”, para la mejora de la competitividad empresarial.

Arroniz, I. V., & Barroso, L. A. (2013). Contaminación ambiental por quema de caña de azúcar: Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz. En *Memoria de ponencias Think Green 2013: Crecimiento verde, retos y oportunidades para México*.

Avidal, C. M., & Torres Rivera, A. D. (2020). Gestión de la sustentabilidad en las cadenas de suministro: Un acercamiento desde la teoría. *Repositorio de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 13, 1523–1539.

Baker, D., Shepherd, A. W., Jenane, C., & da Cruz, S. M. (2013). Agroindustrias y desarrollo. DOI. <https://www.fao.org/4/i3125s/i3125s00.pdf>

Barbosa, L. C., de Souza, S. N. M., dos Santos, R. F., & de Oliveira, C. A. (2019). Sustainable logistics of sugarcane biomass for bioenergy production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 223, 205–220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.158>

Barroquela, W. B., Bega, J. M., & Anicio, S. O. (2022). *Water consumption in the production process of the sugar-energy industry: case study in the northwest of São Paulo (Brazil)*. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*.

Bejarano Herrera, W. F., Arruda, B., de Carvalho, H. W. P., & Pavinato, P. S. (2022). Improving potassium use efficiency of sugarcane through the use of polyhalite. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3, 55. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00124-4>

Boström, M., & Micheletti, M. (2016). Introducing the sustainability challenge of textiles and clothing. *Journal of Consumer Policy*, 39(4), 367–375.

Carter, Craig & Easton, P. (2011). Sustainable Supply Chain Management: Evolution and Future Directions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 41. 46-62. 10.1108/09600031111101420.

Chavez, M. M. M., Sarache, W., Costa, Y., & Soto, J. (2020). Multiobjective stochastic scheduling of upstream operations in a sustainable sugarcane supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123305>

Chaya, W. (2024). Reframing the wicked problem of pre-harvest burning: A case study of Thailand's sugarcane. *Heliyon*, 10(7), e29327. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29327>

Chipfupa, U. y Tagwi, A. (2024). Implicaciones en las emisiones de gases de efecto invernadero de las prácticas de gestión de residuos de los pequeños productores de caña de azúcar: Un caso para la producción de bioenergía en Sudáfrica. *Energy Nexus*, 15, 100308.

Chopra, S., & Peter, M. (2008). Administración de la cadena de suministro. Pearson educación. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44129488/Administracion_de_la_cadena_de_suministro._Estrategia_Planeacio-libre.pdf.

CONADESUCA. (2015). *Impactos ambientales de la agroindustria azucarera en México: Diagnóstico y recomendaciones*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.conadesuca.gob.mx/>

CONADESUCA. (2015). *Nutrición del cultivo de caña de azúcar y uso eficiente de fertilizantes*. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar.

Cortés, M. E. C., & León, M. I. (2005). *Generalidades sobre metodología de la investigación* (p. 105). Ciudad del Carmen, México: Universidad Autónoma del Carmen.

Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2018). Current status and recent developments in biopesticide use. *Agriculture*, 8(1), 13. <https://doi.org/10.3390/agriculture8010013>

De la Caridad Ledoux-Ovies, T. (2022). Caracterización actual del mercado internacional del azúcar. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, Vol. 56, No. 3.

Ferrer, O. A. (2024). ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA EN ENTORNOS VOLÁTILES: ESTRATEGIAS PARA EL ÉXITO EN UN MUNDO DE INCERTIDUMBRES. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, 5(9), e595692-e595692.

Fukushima, Y., & Chen, S.-P. (2009). A decision support tool for modifications in crop cultivation method based on life cycle assessment: a case study on greenhouse gas emission reduction in Taiwanese sugarcane cultivation. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(7), 639–655. DOI [10.1007/s11367-009-0100-x](https://doi.org/10.1007/s11367-009-0100-x)

Garay Jacome, Ángeles Suhgey, Valdivia Alcalá, Ramón, Hernández Ortiz, Juan, & Sandoval Romero, Fermín. (2022). Estimation of the water footprint of sugarcane production for the mills of the Papaloapan basin. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 103-113. Epub 02 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2581>.

Hernández-Acosta, L., Qué-Ramos, F. J., Piña-Guzmán, A. B., & Laines Canepa, J. R. (2013). Uso de plaguicidas en zonas cañeras del municipio de Cárdenas Tabasco, México: Posible impacto ambiental y a la salud. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 6(2), 1–11. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/41072>.

Hernández-Cázares, A. S. (2014). La agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en México. *Agro productividad*, 7(2). Ignacio pires, s. R., & Carretero Diaz, I. E. (2007). Gestión

de la cadena de suministros. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/511>.

Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. *British journal of applied science & technology*, 7(4), 396-403.

Kaplinsky, R. (2010). *El papel de las normas en las cadenas de valor globales*. Banco Mundial. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5396>

Krajewski, L. J. 7., Ritzman, L. P. 1., Malhotra, M. K. 8., González Osuna, M. t. 5., & Gigola Paglialunga, M. C. r. t. 5. (2013). *Administración de operaciones: Procesos y cadena de suministro*. México: Pearson. <http://repositoriokoha.uner.edu.ar/fceco/digitalizacion/indices/015700.pdf>.

Leiva, E. H. (2016). *Análisis de ciclo de vida* (43 p.). Fundación EOI – Escuela de Organización Industrial. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/80958/analisis-de-ciclo-de-vida>

Lenis Bedoya, L. X. (2013). Diagnóstico del nivel de desempeño en la cadena de abastecimiento en una empresa del sector azucarero en el Valle del Cauca, Comercializadora Internacional de Azúcares y Mieles SA (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente). <http://hdl.handle.net/10614/5370>.

Lopez-Milan, E., & Plà-Aragonés, L. M. (2014). A decision support system to manage the supply chain of sugar cane. *Annals of Operations Research*, 219, 285-297. DOI:[10.1007/s10479-013-1361-0](https://doi.org/10.1007/s10479-013-1361-0).

López-Sandoval, M. F., & Maldonado, J. H. (2021). Human rights and labor conditions in agricultural production in Mexico: Challenges and perspectives. *Journal of Rural Studies*, 82, 215–223.

Malanski, P. D., & Lima, L. F. (2021). *Sustainable sugarcane logistics planning considering carbon tax scenarios in Brazil*. *Journal of Environmental Management*, 297, 113336. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113336>

Mannarelli Filho, A. O., Ferreira, D. M., & Santos, J. A. (2023). Corporate social responsibility in the Brazilian sugar-energy sector: Community engagement and sustainability practices. *Sustainability*, 15(12), 9558.

Manzini Poli, L., Tenuta, A., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., & Giannetti, B. F. (2022). Valorization of sugarcane bagasse: A strategy for reducing CO₂ emissions and promoting sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129977.

Martínez, M. (2017). Las cinco azucareras más grandes de México. *Expansión*. <https://expansion.mx/empresas/2017/06/08/estas-son-las-cinco-azucareras-mas-grandes-de-mexico>

Mashoko, L., Mbohwa, C., & Thomas, V. M. (2010). LCA of the South African sugar industry. *Journal of Environmental Planning and Management*, 53(6), 793-807. <https://doi.org/10.1080/09640568.2010.488120>

Mellizo Ruiz, A. F. (2021). *Revisión de los sistemas sostenibles de cosecha verde o cruda de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca*. Fundación Universidad de América.

Méndez, M., Rodríguez, M., & Sepúlveda, G. (2015). *Uso de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar (Saccharum spp.) para elaborar abonos orgánicos*. Fundación para la Educación, Investigación y Desarrollo Rural.

Montenegro Ballesteros, J., & Chaves Solera, M. (2022). *Análisis de ciclo de vida para la producción primaria de caña de azúcar en Costa Rica*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 96–108.

Montenegro Ballesteros, M., & Chaves Solera, M. (2022). Environmental life cycle assessment of sugarcane production systems in Costa Rica. *Sustainability*, 14(3), 1722.

Morales, P. M., Monterrubio, C. G., & Ibarra, M. M. (2021). Uso de biofertilizantes para una producción más rentable y sustentable de caña de azúcar en México. *C3-BIOECONOMY: Circular and Sustainable Bioeconomy*, (2), 81-100. Moursi, K. S., El-Danasoury, A. S., & DOI: <https://doi.org/10.21071/c3b.vi2.13533>

Moursi, K. S., El-Danasoury, A. S., & Mahmoud, A. M. (2020). Biological control of sugarcane borer using *Trichogramma* species in Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30, 134. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00330-0>.

Munagala, M., Shastri, Y., Nagarajan, S., & Ranade, V. (2022). Production of Bio-CNG from sugarcane bagasse: Commercialization potential assessment in Indian context. *Industrial Crops and Products*, 188(Part A), Article 115590. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115590>

Mursidah, S., & Fauzi, A. M. (2022, July). Sustainable sugarcane supply chain performance assessment: a review and research agenda. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1063, No. 1, p. 012039). IOP Publishing. DOI 0.1088/1755-1315/1063/1/012039

Nicolaas Bezuidenhout, C., Bodhanya, S. Y Brenchley, L. (2012). Un análisis de la colaboración en una cadena de suministro de producción y procesamiento de caña de azúcar. *Diario de comida británica*, 114 (6), 880-895. DOI: [10.1108/00070701211234390](https://doi.org/10.1108/00070701211234390)

Nugent, M. A. L. M., Quispe, J. T., Llave, A. M. T., & Morales, J. A. F. (2019). Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica. *Revista venezolana de gerencia*, 24(88), 1136-1146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29062051009>

Oliveira, R. A., et al. (2022). Irrigation with water contaminated by sugarcane pesticides and vinasse can inhibit seed germination and crops initial growth. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35138446>.

Omwoma, Solomon & Arowo PhD, Moses & Lalah, Joseph & Schramm, Karl-Werner. (2014). Environmental Impacts of Sugarcane Production, Processing and Management: A chemist Perspective. 10.13140/2.1.2187.3448.

Oshi, R., Singh, J., & Vig, A. P. (2014). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: Effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(2), 137–159. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9347-1>

Palma, R. J. C., Merizalde, C. K. B., & Flores, F. M. F. (2018). Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001: 2015. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(1), 625-644.

Pinto TJDS, Moreira RA, Freitas JSS, da Silva LCM, Yoshii MPC, de Palma Lopes LF, Ogura AP, de Mello Gabriel GV, Rosa LMT, Schiesari L, do Carmo JB, Montagner CC, Daam MA, Espindola ELG. Respuestas de *Chironomus sancticaroli* a la simulación de contaminación ambiental por

prácticas de manejo de caña de azúcar: Toxicidad de agua y sedimentos. *Sci Total Environ.* 20 de enero de 2023; 857(Pt 3):159643.

Pires, I., & Carretero Díaz, L. E. (2007). *Gestión de la cadena de suministros*. Madrid: McGraw-Hill.

Ramjeawon, T. (2004). Life cycle assessment of cane-sugar on the island of Mauritius. *The international journal of life cycle assessment*, 9(4), 254-260. <https://doi.org/10.1007/BF02978601>.

Ramos, R. L., Damásio, R. A., da Silva, F. F., Freitas, R. A., Soares, F. E. F., & Boas, M. A. V. (2019). Sugarcane biorefineries effluents: Challenges and technologies. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6, 18. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0144->

Ribeiro, L. C., Oliveira, P. H., & Martins, A. P. (2023). Occupational health and modernization in the sugarcane industry of São Paulo, Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 3986.

Rodrigues, T. G., & Machado, R. L. (2023). Life Cycle Assessment of the Sugarcane Supply Chain in the Brazilian Midwest Region. *Sustainability*, 16(1), 285. <https://doi.org/10.3390/su16010285>

Rodríguez, B. R. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín IiE*, (25), 91–97. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/MAES-07/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/lecturas/ACV_GA.pdf

Rodríguez, C. A., & Daza, O. H. (1995). Preparación de suelos. En *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 109–114). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). Recuperado de https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p10_9-114.pdf

Rosales, J., Hernández, L., & Pérez, R. (2024). Indicators of sustainability in sugarcane production: Case study in Campeche, Mexico. *Environmental Development*, 49, 100789.

Ruiz-López, S. E. (2024). Estrategias de Gestión de la Cadena de Suministro en un Mundo Globalizado. *Revista Científica Zambos*, 3(2), 97-119.

Ruiz-Ramírez, J. (2010). Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 149-154. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v28n2/v28n2a6.pdf>

Sabadi, Raul & Díaz de los Ríos, Manuel & Taupier, Luis & Fernández, Jorge. (2019). La cadena de valor de la investigación agroindustrial azucarera.

Salgado-García, S., Álvarez-Sánchez, G. F., Palma-López, D. J., Lagunes-Espinoza, L. del C., & Ortiz-Laurel, H. (2019). Germinación de la semilla artificial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) bajo condiciones de Huimanguillo-Tabasco, México. *Agro Productividad*, 12(7). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1442>

Sancllemente Reyes, O. E., Ararát Orozco, M. C., & De la cruz Cardona, C. A. (2015). Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2). DOI. 10.22490/21456453.1404.

Santos, F. A., Borsato, M., & Rentes, A. F. (2023). Strategies for sustainable sugarcane supply chain management: A literature review. *Journal of Environmental Management*, 336, 117641. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117641>

Saucedo López, R. (2001). Cadena de suministro por Ricardo Saucedo López. <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/3850/17440.pdf?sequence=1>

Scarpari, M. S., Plà, L. M., & de Beauclair, E. G. F. (2008). La optimización del cultivo de variedades de caña-de-azúcar. *Investigación Operacional*, 29(1), 27-34.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Programa derivado del Plan Nacional de Agroindustria de la Caña de Azúcar 2023-2024*. Gobierno de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/946671/08_PRONAC_AyR2324.pdf

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>

Silva, A. C., Seabra, J. E. A., & Macedo, I. C. (2018). Logistics of sugarcane biomass: Modelling and simulation of a harvesting and transport system in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 200, 297–309.

Silva, R. d. S., Teixeira Filho, M. C. M., Jalal, A., Alves, R. S., Elias, N. C., Nascimento, R. E. N. d., Abreu-Junior, C. H., Jani, A. D., Capra, G. F., & Nogueira, T. A. R. (2024). Treating Tropical Soils with Composted Sewage Sludge Reduces the Mineral Fertilizer Requirements in Sugarcane Production. *land*, 13(11), 1820.

Silva, R., Gómez, C., & Torres, P. (2019). Labor risks and occupational health in the Latin American sugarcane industry. *Safety Science*, 120, 276–285.

Solomon, S. (2016). Sugarcane production and development of sugar industry in India. *Sugar Tech*, 18(6), 588-602. DOI 10.1007/s12355-016-0494-2

Teixeira, EDS, Rangel, S., Florentino, HDO, & de Araujo, SA (2023). Una revisión de modelos matemáticos de optimización aplicados a la cadena de suministro de caña de azúcar. *Transacciones internacionales en investigación operativa*, 30 (4), 1755-1788. DOI: 10.1111/itor.13056.

Tukker, A. (2000). Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 20, 435–456. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(99\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(99)00045-1)

Valdéz, J. A. O., López, M. H. G., Pivaral, E. G. S., Montenegro, R. A. S., & Mendizábal, G. A. A. (2022). *Plan para implementación de mejora al proceso de envasado de sacos de 50 kg, con azúcar refinada en Ingenio Santa Ana, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla*. Universidad Rural de Guatemala.

Vallejo Campo, J. L. (2016). Modalidades de acción, proceso organizativo y fuentes del poder social: El caso del movimiento obrero de los corteros de caña en 2008. En *El cambio de paisaje y la agroecología como alternativa a la crisis ambiental contemporánea* (pp. 38–63). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/19312/1376-2537-1-SM.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Vinueza Salazar, E. E. (Enero – junio de 2025). Análisis bibliométrico de la producción científica sobre la cadena de suministro verde y prácticas sustentables. *Visión Empresarial*, Vol. 15, Núm. 2, 91 – 111. <https://doi.org/10.32645/13906852.1379>.

Wike Agustín Prima Dania, Ke Xing, Yousef Amer. (2019). Un marco de colaboración integrado para Cadenas de suministro de azúcar sostenible.

Zhao, Y., Cao, J., Wang, Z., Liu, L., Yan, M., Zhong, N., & Zhao, P. (2023). Enhancing Sugarcane Growth and Improving Soil Quality by Using a Network-Structured Fertilizer Synergist. *Sustainability*, 15(2), 1428.

Zhou, Y., Li, M., He, C., Zhang, Y., & Wang, Y. (2023). Entomopathogenic fungi as potential biocontrol agents in sugarcane pest management. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1208237. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1208237>

Zorpas, A. A., & Inglezakis, V. J. (2023). Sugar industry wastewater treatment and membrane technologies. *Membranes*, 13(8), 709. <https://doi.org/10.3390/membranes13080709>.

Anexo 1

ENCUESTA SOBRE SUSTENTABILIDAD

Este trabajo pretende establecer una vinculación entre las partes académica y laboral con el fin de buscar beneficios conjuntos que se puedan traducir posteriormente en proyectos de capacitación ambiental, ahorro de materiales y energía y optimización de procesos, entre otros.

El objetivo de esta encuesta es conocer como las empresas se adhieren a las prácticas por la sustentabilidad.

Es de suma importancia la participación de las empresas, ya que con ella se podrá tener una visión objetiva en el sector azucarero a nivel nacional con la sustentabilidad.

El cuestionario cuenta con una serie de preguntas de opción múltiple que tienen un tiempo de respuesta de 10 minutos aproximadamente.

Si decide colaborar con la investigación contestando las preguntas de esta encuesta, se garantiza que los datos obtenidos a través de ella serán tratados de forma confidencial y solo se ocuparan para los fines académicos que se mencionan en este documento. De la misma forma, si a usted o a su empresa les interesan los resultados de este trabajo o algún tipo de vinculación, les solicitamos llenar los espacios de contacto al final de la encuesta. La UAEM a través de la FCQeI agradece ampliamente su colaboración.

¡MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

Instrucciones: en las siguientes preguntas marque por favor la respuesta que más se acerque a lo que ocurre dentro de su empresa. Use la escala que se muestra a continuación. Marque solo **UNA** respuesta.

A	B	C	D
No aplica nunca en ninguna área de la empresa	Aplica algunas veces en algunas áreas de la empresa	Aplica siempre en algunas áreas de la empresa	Aplica siempre para toda la empresa

1. Dimensión Económica					
1.1. Confiabilidad: Probabilidad de que un proceso funcione bien.		A	B	C	D
1.1.1.	Los proveedores de la empresa son confiables				
1.1.2.	Los pronósticos de la demanda en la cadena de suministro son confiables				
1.2. Capacidad de Respuesta: Probabilidad de producir, frente a una demanda, una respuesta de calidad aceptable, dentro de un margen de tiempo aceptable y a un costo también aceptable.		A	B	C	D
1.2.1.	Existe capacidad de respuesta en la entrega de los productos				
1.3. Flexibilidad: Susceptibilidad para adaptarse a los cambios de acuerdo a las circunstancias. Capacidad de adaptación.		A	B	C	D
1.3.1.	La producción permite responder a la demanda con flexibilidad				
1.3.2.	La entrega del producto se adapta a las necesidades del cliente				
1.4. Rendimiento Financiero: Ganancia que permite obtener una cierta operación. Se trata de un cálculo que se realiza tomando la inversión realizada y la utilidad generada luego de un cierto periodo.		A	B	C	D
1.4.1.	Los costos de materia prima son los mejores del mercado				
1.4.2.	Los costos de producción son acordes a los del sector				
1.4.3.	Los costos de entrega son los mejores del mercado				
1.5. Calidad: Satisfacción de las necesidades del cliente		A	B	C	D
1.5.1.	Los productos cumplen con las expectativas del cliente				
1.5.2.	Los proveedores cumplen con las expectativas de la empresa.				
1.5.3.	Los procesos de producción cumplen con las expectativas de sus clientes.				

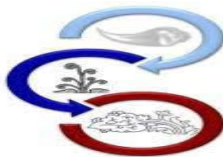
A	B	C	D
No aplica nunca en ninguna área de la empresa	Aplica algunas veces en algunas áreas de la empresa	Aplica siempre en algunas áreas de la empresa	Aplica siempre para toda la empresa

2. Dimensión Ambiental					
2.1. Administración Ambiental: Estrategia mediante la cual se organizan las actividades realizadas por la empresa que afectan al ambiente.		A	B	C	D
2.1.1.	Existe un presupuesto ambiental en la empresa.				
2.1.2.	La empresa tiene una certificación ambiental.				
2.1.3.	La empresa cumple con los requerimientos ambientales gubernamentales.				
2.1.4.	Los trabajadores de la empresa participan en el cuidado del ambiente.				
2.2. Uso de Recursos: Responsabilidad con la que la empresa utiliza los recursos naturales de forma eficiente.		A	B	C	D
2.2.1.	La empresa utiliza energía limpia (no fósil, renovable), tal como energía solar o eólica.				
2.2.2.	La empresa cuenta con planta de tratamiento de agua y/o utiliza agua reciclada.				
2.2.3.	La empresa utiliza como insumos materiales reciclados.				
2.2.4.	Durante el proceso existen desechos que se puedan reutilizar.				
2.2.5.	Los productos fabricados se pueden reciclar.				
2.3. Contaminación: Introducción de alguna sustancia o energía que atenta contra el normal funcionamiento y equilibrio del medio, provocando además un daño irreversible.		A	B	C	D
2.3.1.	La empresa emite gases contaminantes a la atmosfera.				
2.3.2.	En los procesos productivos, existen derrames directos en aguas superficiales o infiltraciones en aguas subterráneas.				
2.3.3.	Los procesos productivos generan descargas de metales pesados, hidrocarburos, dioxinas y/o fenoles al suelo.				
2.3.4.	La empresa genera ruido, olores, contaminación visual, vibraciones y/o radiaciones.				
2.4. Peligrosidad: Probabilidad de ocurrencia de una situación de riesgo.		A	B	C	D
2.4.1.	En la empresa se utilizan materias primas peligrosas.				
2.4.2.	La empresa produce productos peligrosos.				
2.4.3.	La empresa produce residuos peligrosos.				
2.5. Entorno Natural: Incluye lo referente al aire, el paisaje, la vegetación y la fauna.		A	B	C	D
2.5.1.	La empresa promueve, protege y rehabilita los servicios que nos dan alimento, agua y combustible.				
2.5.2.	La empresa asegura la sobrevivencia de especies acuáticas y terrestres,				
2.5.3.	La empresa garantiza que el uso de suelo de sus instalaciones no viole las reservas naturales.				
2.5.4.	La empresa participa en el desarrollo rural o urbano donde se asienta.				

A	B	C	D
No aplica nunca en ninguna área de la empresa.	Aplica algunas veces en algunas áreas de la empresa	Aplica siempre en algunas áreas de la empresa.	Aplica siempre para toda la empresa.

3. Dimensión Social					
3.1. Condiciones de Trabajo: Cualquier característica laboral que puede tener una influencia significativa en la seguridad y la salud del trabajador.		A	B	C	D
3.1.1.	La empresa proporciona buenas condiciones de trabajo (salario, prestaciones, periodos de descanso, vacaciones y protección a la maternidad entre otras).				
3.1.2.	La empresa mantiene el más alto grado de desarrollo y bienestar físico, mental y social para prevenir accidentes laborales debido a las condiciones dentro de la empresa.				
3.2. Derechos Humanos: Condiciones instrumentales que le permiten a la persona su realización.		A	B	C	D
3.2.1.	La empresa contrata a menores de 14 años como trabajadores.				
3.2.2.	Los trabajadores pueden asociarse libremente y ser representados (forman sindicatos).				
3.2.3.	Las condiciones de trabajo y las políticas de contratación se basan solo en los requisitos del empleo.				
3.3. Compromiso con la Sociedad: Asumir un conjunto de obligaciones para proteger intereses comunes de los clientes, los proveedores y la comunidad.		A	B	C	D
3.3.1.	La empresa se asocia con organizaciones locales para beneficio de la comunidad donde se establece.				
3.3.2.	La empresa contribuye con la comunidad para fomentar la educación, la cultura y/o el desarrollo tecnológico.				
3.3.3.	La empresa contribuye a la creación de empleos y al desarrollo de competencias en la comunidad en la que se encuentra.				
3.3.4.	La empresa contribuye a fomentar a la salud en la comunidad.				
3.3.5.	La empresa invierte en programas para mejorar las condiciones de vida de la comunidad que la rodea.				

- Si usted o su empresa están interesados en conocer los resultados de esta investigación y/o alguna otra información sobre la UAEM, le agradecemos nos brinde los siguientes datos de contacto.



Nombre	
Correo electrónico	

¡GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN Y TIEMPO!

*Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

DR. ZAKARYAA ZARHRI
DR. RICARDO FARFAN ESCALERA
DRA. MARIA DEL CARMEN TORRES SALAZAR
DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR
MTRA. EMILIA ALDAMA CASIAS
P R E S E N T E

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

PROGRAMAS EDUCATIVOS DE CALIDAD RECONOCIDOS POR CIEES, CACEI Y CONAHCYT

SGI Certificada en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018

FORMATO T-2

NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA
Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 18 de febrero del 2026.

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la comisión revisora de la tesis que presenta Arellano Mejia Irving, titulado: **COMPARATIVO DE CADENAS DE SUMINISTRO CLÁSICA Y SUSTENTABLE DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SUS PRODUCTOS** realizada bajo la dirección de la Dra. María del Carmen Torres Salazar y la Co-dirección de la Dra. Mariana Romero Aguilar, del Programa Educativo de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

ATENTAMENTE
Por una humanidad culta

MTRA. ANGELICA GALINDO FLORES
DIRECTORA DE LA FCQEI

D I C T A M E N

MTRA. ANGELICA GALINDO FLORES
DIRECTORA DE LA FCQEI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:

D I C T A M E N

NOMBRE	VOTO	FIRMA
DR. ZAKARYAA ZARHRI	APROBADO	
DR. RICARDO FARFAN ESCALERA	APROBADO	
DRA. MARIA DEL CARMEN TORRES SALAZAR	APROBADO	
DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR	APROBADO	
MTRA. EMILIA ALDAMA CASIAS	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

ANGELICA GALINDO FLORES | Fecha:2026-02-19 17:26:19 | **FIRMANTE**

JFVFmGfmJw8v6lozz2VHJnhTqliYy4iG9R3ny3qUQelUn+dKnaNjglWWvfExx60/JI7H4RinmbVt6Ltf4uJ4/Z/GdrnUSJ70GM24E9uLrGgLYOgRXubiGKYigWH2b+TBThAA91vWsstNdUeteZ7nC+tgJyqHvD1ICTz0wE1I2s/6ovQdzBoHLsuRMZ/I0aBTE8RIQ6E/koDF5e4Ouxz5ujjHo3bvLoVuiQ86LeFcoVuVHKwPY+f8E8hY3SgeSI0hZoCrOzA9NoX+vRWXN1U4lyCGqkLI+R/UGHkkeuooUpqW+V4U8Pc3AlyLLd9tMUC1t5dMEeZ3BleeDvMRSLEoRsw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[QGrWkqoF5](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/SNiaCBVcl9RXOe38moqNpVZEUXxyuAX>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

ZAKARYAA ZARHRI | Fecha:2026-02-20 10:31:05 | FIRMANTE

AXomlluX+Vmf5qvD1i6SKkS8asm2+WeOwSMVGuHg9FjNJFa02PeMNRDlpsJ5zfXa4eYS8Vb9xm79461KhXwdS8hEXgz5rBlmkSxWeRcbjfos9sMxiXIZ0P0gCFMuN7VruhP9uhAftisg0Fua5E7MW9f7aU6sBb09ZHlo/cS5KaeYEaJUspO/vQac+SRQE7av+7VQ+Z5Yt+eNzXkKpIvYJBe0vWuJUkoBso2ov4r3pbQy4RiDqy6tBu2pg9UsNhKT8TwrfeAPJmxxpCSZA NkX0L3xUACM9H7im+qVPxiRkGy1mJoqev5csnb3YGQosfyZa0u1NdcadSejInLdLBOOnw==

MARIANA ROMERO AGUILAR | Fecha:2026-02-20 12:09:19 | FIRMANTE

Ua8mr1uly600BOqgoMrvH/YjkP6OikXm6mpJMJATOFUC3hsSRWTHidP5iw8iMXEenqQF5M0Jl2qBVku495AXsExoONCi77n4NoKcsJ1/2TVnI4BceWso/B33XRyaN0v8AcP3HNcXhz+KTZ2LbCV0BhHVjyRjWjYLL5wxCFz83gWaqKuB3YTm2gFikVarLKrl8CLcgM4FuABPj/U+5JcdYbNffDC/3tav/04fNUOObDctCUR+eZQXmBvkAyuXvAGocrEO9KT1LccpEjAPhZITgSAo7IWQXqviDxCrmbil4aQL40LaWi9u6SZHV2JVarYzt8N9Hw8si5iozNchTD1kg==

MARIA DEL CARMEN TORRES SALAZAR | Fecha:2026-02-20 12:33:04 | FIRMANTE

h4vq/PwSh0qYOHtmrZs1MS7loSUsEWMkoDTa7MyY3PDU7KX0zLVd8uXIGgC2Cx5v4QGTMSO803JLEgE1BqJqVlucokPbyzedPnTeV+gNX2lk/OjYkZ8ctnkYuziyiFVUIYu25nKQf3Ab0XTgSAjQGdrCJoon6A1ehRQYF+LG7gFdAUE4BinHhx+Tsqq38/nrX0Vjaho4Jycc80EFsdW+JaDjJd1mc/s8GAFS2ejU0ihZUxVnFm+f5E8jdlqk3TlZfy9saxCg1b3hG8np ozJODqQKSi279Z+VI4ScaxylfHE7OvBvaCfcwVaJpG1T4S7AwLhieXBT8J/Fq7qstZQ==

RICARDO FARFÁN ESCALERA | Fecha:2026-02-23 09:19:43 | FIRMANTE

nREII067lkcAA6mpDNc5sdNaNC3oM2J4JFOG6GhpW1RwoMGG/srcgV+92HFGBFVfOppPT3qpXj0zxORCi5kLVHxpYhzuNXZeQsX6inVqHAW/d19TEDkeDk3pADZck45jeq0yIqTu5vdtMWstl3if6YR0PUMN7eEIRYsCGICRhs7OKlotcS5q+p5NZAiX6BDYLUAM+kP4g6CEslelm1kPdmkTES5uWWxfYMduoOgLbD0ATZ4IB0CvDTPUHVRS5AWkAU4sBRhtuCMwoC2Yv8inv/jzqbMgoDyPiPjuyeRc2falh276wv0i4azCfyPWH+c1C5B697BsFOwvPFdbe6FMjlg==

EMILIA ALDAMA CASIAS | Fecha:2026-02-23 14:17:56 | FIRMANTE

QILxWBFFINvdEVRAxRyR8WxWFcdj8UD871mlagq66JlcHXADVIsO3Ax0dCeMOxkib6ZbecQ2aA1ltkbMr2PPWlM/P92NBMjilLfv3uMq4b7sfN20y0XkdjDUCpnruFs8QifniFSAcQ26ela6cP2D+VjXNKjbikQnnOqmm06+CEMSE+sb241GNmfMnHxxOo7XFUahEK5F+CPHTgkqKQ8QQpC3WwZWB3IsFJHd4nMwxmVeKepyPPa+eCuXG1FWz96ubq7f+d5o iSY7VDw52CuoEodehdEm3GM304tlHaemjO+G/f8zjv2bMIDEeLipfWt/saRtBKxLrGdsUn5SA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



tdNT5z6jy

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/7rArol7auU3fD1joGtlNzNTQNWyFDSuT>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029