UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES

Costos de logística de rastrojo de maíz para etanol: un caso de estudio

TESIS

Que como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias Económicas y Sociales

Presenta: Axel Hiram Angulo Zambada.

Director: Dr. Luis Armando Becerra-Pérez.

Lectoras: Dra. Abril Yuriko Herrera-Ríos y Dra. Beatriz Margarita Terán-Pérez

Culiacan, Sinaloa 26 de Agosto, 2026

Universidad Autónoma de Sinaloa

Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd.
Universitarios
C.P. 80010 Culiacán Sin. Méx.
Tel (667) 713 78 32 y
(667) 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a la vida por darme la oportunidad de cumplir una de mis metas. A cada una de las personas que formaron parte de este proceso de aprendizaje. A mi director de tesis, el Dr. Luis Armando Becerra Pérez, quien me ayudó durante todo el proceso de mi investigación. A mis lectoras, la Dra. Abril Yuriko Herrera Ríos y la Dra. Beatriz Terán Pérez, que siempre se dieron el tiempo para ayudarme y apoyarme en mis avances. Gracias a la Universidad Autónoma de Sinaloa, a la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Al director, a mis maestros y a mis compañeros por ayudarme en esta etapa de mi vida. A don Mariano Tostado, quien fue muy importante a la hora de decidir mis estudios. También a Antonio y Misael, quienes fueron fundamentales en mi tesis. Y, por último, quiero agradecer a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) la oportunidad de cursar la maestría.

Culiacan, Sinaloa 26 de Agosto, 2026

DEDICATORIA

Se lo dedico a mis padres y familiares, que me han demostrado que con el trabajo y la disciplina se puede lograr casi todo en la vida. También se lo dedico a mis amigos y conocidos que me ayudan y me acompañan en todos los momentos.

Culiacan, Sinaloa 26 de Agosto, 2026

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 5
DEDICATORIA 7
RESUMEN 10
ÍNDICE DE TABLAS 12
ÍNDICE DE FIGURAS 13
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS 14
Capítulo I 19
CONTEXTO DEMOGRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO 19
I.1.1 Sinaloa en números 20
I.1.2 Modelo lineal obsoleto en Sinaloa 25
I.2. Planteamiento del problema 28
I.3. Objetivos de la investigación y área de estudio 29
I.4. Justificación del estudio 30
I.5. Preguntas e hipótesis de la investigación 31
Capítulo II 33
ENERGÍA RENOVABLE COMO NUEVO PARADIGMA 33
II.1.1 Transición energética 34
II.1.2 Uso de energía de México y el mundo 36
II.2 Políticas regulatorias de México 40
II.2.1 Sector privado de la energía en México 41
II.2.2 Ley de biocombustibles 42
II.3 Bioetanol 43
II.3.1 Mercado del etanol 45
II.3.2 Combustible E10, E15 y E85 48
II.4 Rastrojo de maíz 50
II.4.1 Usos del rastrojo 51
II.4.2 Proceso para empacar el rastrojo de maíz 55
II.4.3 Herramientas y maquinaria 56
II.5 Logística 57
2.5.1 Logística en la agricultura 58
II.5.2 Estudios de logística de rastrojo de maíz para etanol 60
II.5.3 Producción de etanol a partir de rastrojo de maíz 66
II.6 Almacenamiento de rastrojo de maíz 68

Capítulo III 70
DISEÑO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE CASO 70
III.1.1 Diseño de la Investigación 71
III.1.2 Justificación de la selección del predio 71
III.1.3 Limitaciones y alcance del estudio 72
III.2 Costeo Basado en Actividades 74
III.2.1 Cruz CAM-I 75
III.3 Identificación y definición de variables de la cruz CAM-I 76
III.3.1 Desmenuzado 77
III.3.2 Hilerado 78
III.3.3 Empacado 79
III.4 Depreciación de maquinaria 80
III.4.1 Mantenimiento 81
III.5 Costo de paca tirada 82
Capítulo IV 83
RESULTADOS Y CONCLUSÍON 83
IV.2 Análisis de la depreciación 83
IV.2.1 Análisis del mantenimiento 85
IV.2.2 Análisis del consumo de combustible 85
IV.3 Análisis desmenuzado 86
IV.3.1 Análisis hilerado 87
IV.3.2 Análisis empacado 88
IV.4 paca tirada 88
IV.4.1 Análisis costos de paca tirada 90
IV.5 Análisis transporte 91
IV.6 Costos por actividad 92
IV.6.1 Análisis del costo por actividad 93
IV.7 Discusión de resultados 94
IV.7.1 Factores productivos del entorno regional de Sinaloa 95
IV.8 Conclusion 96
IV.9 Recomendaciones para futuras investigaciones 97
Referencias 99

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue estimar el costo de producir pacas de rastrojo de maíz, como información tecno-económica esencial en la configuración de una potencial planta de conversión de biomasa lignocelulósica a etanol anhidro para combustible. Se utilizó una metodología de Costeo Basado en Actividades *(ABC/M por las siglas del inglés Activity-Based Costing/Management)* para analizar de manera detallada y precisa los costos asociados a las cuatro etapas de la cosecha de rastrojo de maíz: desmenuzado, hilerado, empacado y transporte. El estudio se realizó en un lote de 10 hectáreas en la zona central del estado de Sinaloa, para maíz cultivado en sistema de riego hídrico, durante el ciclo Otoño-Invierno 2024-2025. Los resultados estiman $3,113.88 para desmenuzado; $1,760.14 para hilerado; $7,478.72 para empacado; y $19,464 para el transporte a un lugar de almacenamiento, todos en MXN. En las 10 hectáreas se produjeron aproximadamente 2.433 pacas de 20 kg cada una, con un costo total de $33,816.74 al sumar las cuatro etapas. El costo unitario por paca es de aproximadamente $13.90. El costo por tonelada de rastrojo, empacado y trasladado a un lugar de almacenamiento, es de $694.96. El costo total por tonelada de rastrojo de maíz, puesto en almacén, a un tipo de cambio de 19 pesos por dólar, es de $36.56 USD, valor que se encuentra dentro del rango de precios publicado en la literatura, aun considerando los rendimientos específicos del origen de la investigación, el tipo de maquinaria y las distancias de transporte.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the cost of producing corn stover bales, as essential techno-economic information for the design of a potential lignocellulosic biomass conversion plant to anhydrous ethanol for fuel. An Activity-Based Costing/Management (ABC/M) methodology was used to analyze, in detail and with high accuracy, the costs associated with the four stages of corn stover harvesting: shredding, windrowing, baling, and transportation. The study was conducted on a 10-hectare plot in the central region of the state of Sinaloa, Mexico, for irrigated corn during the 2024-2025 fall-winter growing season. The results estimate $3,113.88 for shredding; $1,760.14 for windrowing; and $7,478.72 for baling. and $19,464 for transport to a storage facility, all in MXN. Approximately 2,433 bales, each weighing 20 kg, were produced on the 10 hectares, with a total cost of $33,816.74 across the four stages. The unit cost per bale is approximately $13.90. The cost per ton of crop residue, baled and transported to a storage facility, is $694.96. The total cost per ton of corn crop residue, delivered to storage, at an exchange rate of 19 pesos per dollar, is $36.58 USD, a value that falls within the price range published in the literature, even considering the specific yields of the research site, the type of machinery, and the transport distances.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PRODUCCIÓN ANUAL DE ETANOL (MILLONES DE GALONES) 45
TABLA 2 ESTUDIOS DE LOGÍSTICA DE RASTROJO DE MAÍZ PARA ETANOL 65
TABLA 3 CONCEPTOS DE LA CRUZ CAM-I Y SU DEFINICIÓN 75
TABLA 4 CONCEPTOS DE LA CRUZ CAM-I UTILIZADOS EN EL ESTUDIO DE CASO 77
TABLA 5 COSTO DE DEPRECIACIÓN POR HORA DE LOS RECURSOS UTILIZADOS 83
TABLA 6 COSTO DE MANTENIMIENTO DE MOTOR 84
TABLA 7 COSTO DE MANTENIMIENTO DEL HIDRÁULICO 84
TABLA 8 COSTO DE MANTENIMIENTO POR HORA 85
TABLA 9 CONSUMO DE DIÉSEL POR ACTIVIDAD 86
TABLA 10 DESGLOSE DE COSTO DE DEPRECIACIÓN, MANTENIMIENTO, COMBUSTIBLE Y MANO DE OBRA DEL DESMENUZADO PARA LA PRODUCCIÓN DE PACAS DE RASTROJO DE MAÍZ (10 HECTÁREAS) 86
TABLA 11 DESGLOSE DE COSTO DE DEPRECIACIÓN, MANTENIMIENTO, COMBUSTIBLE Y MANO DE OBRA DEL HILERADO PARA LA PRODUCCIÓN DE PACAS DE RASTROJO DE MAÍZ (10 HECTÁREAS) 87
TABLA 12 DESGLOSE DE COSTO DE DEPRECIACIÓN, MANTENIMIENTO, COMBUSTIBLE Y MANO DE OBRA DEL EMPACADO DE 2433 PACAS DE RASTROJO DE MAÍZ (10 HECTÁREAS) 88
TABLA 13 COSTOS CONSIDERADOS EN LA PACA TIRADA 90
TABLA 14 COSTOS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN DEL VALLE DE CULIACÁN (EMPRESA LOCAL) 92
TABLA 15 COSTOS POR ACTIVIDAD DEL ESTUDIO DE CASO 93
TABLA 16 COSTOS DE PRODUCCIÓN DE 2433 PACAS DE 20 KG 96
TABLA 17 COMPARACIÓN DE ESTUDIOS ENCONTRADOS EN LA LITERATURA 98

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 *PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN MILLONES DE PESOS DE SINALOA* 20
FIGURA 2 PRODUCCIÓN DE MAÍZ DE SINALOA VERSUS PROMEDIO DE PRODUCCIÓN POR ESTADO DE MÉXICO (1990-2023). 22
FIGURA 3 MUNICIPIOS CON MÁS PARTICIPACIÓN DE SIEMBRA DE MAÍZ EN SINALOA 2023 24
FIGURA 4 MAPA SATELITAL DEL PREDIO 30
FIGURA 5 COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA EN MÉXICO 2013-23 (PETAJOULES) 36
FIGURA 6 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN MÉXICO 2023 39
FIGURA 7 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO (2023) 39
FIGURA 8 PROCESO DE BIOLOGÍA DE LA BIOCONVERSIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN BIOCOMBUSTIBLES. 44
FIGURA 9 PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES (1990-2023) 47
FIGURA 10 RASTROJO DE MAÍZ ANTES DE SER PROCESADO 49
FIGURA 11 VACAS Y DE FONDO PACAS DE RASTROJO DE MAIZ CON LAS QUE SE ALIMENTAN 51
FIGURA 12 PACAS ESTRIBADAS PARA SU USO 52
FIGURA 13 TERRENO DESPUES DE LA INCINERACION DEL RASTROJO DE MAIZ 53
FIGURA 13 RASTROJO DE MAIZ VS MAIZ 54
FIGURA 14 TRACTOR CON DESMENUZADORA TRABAJANDO 55
FIGURA 15 COSECHADORA AGRÍCOLA DE FORRAJE DE 10 AROS, 57
FIGURA 16 JOHN DEERE CON EMPACADORA NEW HOLLAND HAYLINER 275 68
FIGURA 17 ILUSTRACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE PACAS DE 20 KG PARA COMERCIALIZAR 69
FIGURA 18 ALMACENAMIENTO DE PACAS DE RASTROJO PARA ALIMENTO DE RUMIANTES 69
FIGURA 19 *VISUALIZACIÓN DEL SEGUIMIENTO DE LA METODOLOGÍA ABC/M* 73
FIGURA 20 DESMENUZADO EN EL CAMPO DE INVESTIGACIÓN 78
FIGURA 21 EMPACADO EN EL CAMPO DE INVESTIGACIÓN 79
FIGURA 22 ILUSTRACIÓN DEL CAMPO DE INVESTIGACIÓN DESPUÉS DE EMPACAR LAS PACAS 80
FIGURA 22 ILUSTRACIÓN DE PACA DESPUES DE EMPACAR 89
FIGURA 23 PACA TIRADA 89
FIGURA 24 PROCESO DE CARGAR,DESCARGAR PARA TRANSPORTE DE PACAS 20 KG 91

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Medio Ambiente y Energía

- **CO2:** Dióxido de Carbono .
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **SENER:** Secretaría de Energía (México).
- **TWH:** Teravatio-hora (o Terawatt-hour, una unidad de energía eléctrica a gran escala).
- **IEA:** *International Energy Agency* (Agencia Internacional de la Energía).
- **CEL – Certificados de Energía Limpia:** Son instrumentos emitidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en México para acreditar la producción de una cantidad determinada de energía eléctrica a partir de fuentes limpias.
- **CFE – Comisión Federal de Electricidad:** La empresa pública del gobierno mexicano que se encarga de la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en todo el país.
- **CEMIE-Bio – Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía:** Un consorcio de investigación público-privado que promueve el desarrollo tecnológico y el uso de la bioenergía (energía a partir de biomasa y residuos orgánicos) en México.
- **RFA – Renewable Fuels Association:** Asociación comercial de la industria estadounidense del etanol, que incluye combustibles renovables, etanol, E85, E15 y bioproductos.
- **RFS- Renewable Fuel Standard :** Programa estadounidense para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y expandir el sector de combustibles renovables del país.

Organismos Internacionales y Gestión de Costos

- **EPA – Agencia de Protección Ambiental:** (*Environmental Protection Agency*) Es la agencia del gobierno federal de los Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y salvaguardar el medio ambiente.
- **CAM-I – Consortium for Advanced Management-International:** Un consorcio internacional sin fines de lucro compuesto por corporaciones, agencias gubernamentales y la academia, enfocado en la investigación y desarrollo de mejores prácticas para la gestión de costos, gestión basada en actividades (como el *ABC/M* que vimos antes) y gestión del rendimiento.

Salud y Ámbito Social

- **RSU:** Respiduos Solidos Urbanos
- **COVID 19:** *Epidemia coronavirus 2019*
- **CRUZ CAM-I:**, un modelo/matriz utilizado en la gestión de costos (asociado al acrónimo de ABC/M), desarrollado por el consorcio *Consortium for Advanced Management-International*.

Organismos de desarrollo en México

- **CODESIN:** Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa.
- **SADER:** Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- **SIAP:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- **FIRA:** Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
- **CAADES:** Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa.
- **PRODESEN:** Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
- **DOF:** Diario Oficial de la Federación

Contabilidad y Finanzas

- **ABC/M:** *Activity-Based Costing / Management* (Costeo Basado en Actividades).
- **NIC:** Normas Internacionales de Contabilidad
- **NIF:** Normas de Información Financiera (México).
- **CINIF:** Consejo Mexicano de Normas de Información Financiera.
- **MXN:** Peso Mexicano
- **USD:** United States Dollar
- **PIB:** producto interno bruto

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial en los últimos cien años ha sido abismal; en 1930 era de 2,000 millones de personas, actualmente es cercana a 8,600 millones y se pronostica en 2030 que la población será de 10,000 millones. Este aumento incrementa directamente la demanda de energía, y los materiales con los que se produce. Los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas, son, con diferencia, los mayores contaminadores del mundo, ya que representan más del 75 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y cerca del 90 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO2) . La ciencia lo indica claramente: para evitar los impactos más graves del cambio climático, es necesario triplicar las energías renovables, lo que reduciría las emisiones a casi la mitad para 2030. En 2016 entró en vigor el Acuerdo de París dentro de la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático; este instrumento jurídico es un pilar estratégico para el fomento de medidas de mitigación, adaptación y resiliencia frente al cambio climático. Su objetivo primordial radica en limitar el incremento de la temperatura promedio global significativamente por debajo de los 2 °C respecto a los niveles preindustriales, redoblando los esfuerzos para restringir dicho aumento a 1.5 °C, minimizando así los riesgos y los impactos ambientales catastróficos (Schleussner et al., 2022). Detrás de este objetivo se encuentra el supuesto de que las emisiones pueden equilibrarse con absorciones de modo que su efecto climático neto sea cero. Por otro lado, al considerar todos los impactos climáticos de las emisiones y absorciones de dióxido de carbono (CO2), hay razones para esperar que no sean equivalentes entre sí. Entre los posibles contribuyentes se encuentran los efectos biogeofísicos y los gases de efecto invernadero (GEI) distintos del CO2. Por ende, Zickfeldet et al. (2023) sugieren priorizar las reducciones de emisiones frente a las absorciones. Una de las formas de lograrlo es reducir el consumo de energías derivadas de la extracción de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles, y optar por

energías renovables como la solar fotovoltaica, la eólica terrestre o la proveniente de la transformación de biomasa en biocombustible. El etanol lignocelulósico es una de las herramientas más importantes para mitigar los GEI, porque aborda el problema de las emisiones desde diferentes perspectivas estratégicas, transformando el ciclo de carbono de lineal a circular y regenerativo. En comparación con los combustibles fósiles que liberan carbono almacenado bajo tierra durante millones de años. Rogelj et al, (2021) concordaron que para llegar a un efecto climático cero primero se tiene que reducir masivamente el CO2, luego se deben considerar las reducciones de GEI que son diferentes al CO2, y por último una intensificación de las estrategias para eliminar totalmente el CO2 del aire.

Sinaloa es el principal productor de maíz de México; la mayoría del rastrojo de maíz se quema, se incorpora al suelo o se vende como alimento para el ganado. Además, el Estado importa casi todo el combustible que utiliza; es importante buscar alternativas que reduzcan la dependencia internacional y que mejoren el apoyo a la mitigación del cambio climático. Mediante esta investigación se busca transformar un problema ambiental en una oportunidad de negocio; al cuantificar los costos logísticos, se busca comprobar que el rastrojo de maíz sinaloense puede ser una materia prima rentable y competitiva para la industria de biocombustibles. Además, se busca contribuir a la resiliencia del productor local de Sinaloa, que a menudo queda a merced de la volatilidad de los precios en la Bolsa de Valores de Chicago. El primer capítulo se enfoca en establecer el contexto demográfico y socioeconómico del estado de Sinaloa. También se incluyen el planteamiento del problema, las preguntas y las hipótesis. En el segundo capítulo se aborda la urgencia global de las energías renovables y el cambio de paradigma necesario para mitigar el cambio climático. Se explica la obligación que tiene el mundo de realizar una transición hacia fuentes de energía limpias. Además, menciono el bioetanol de segunda generación (producido a

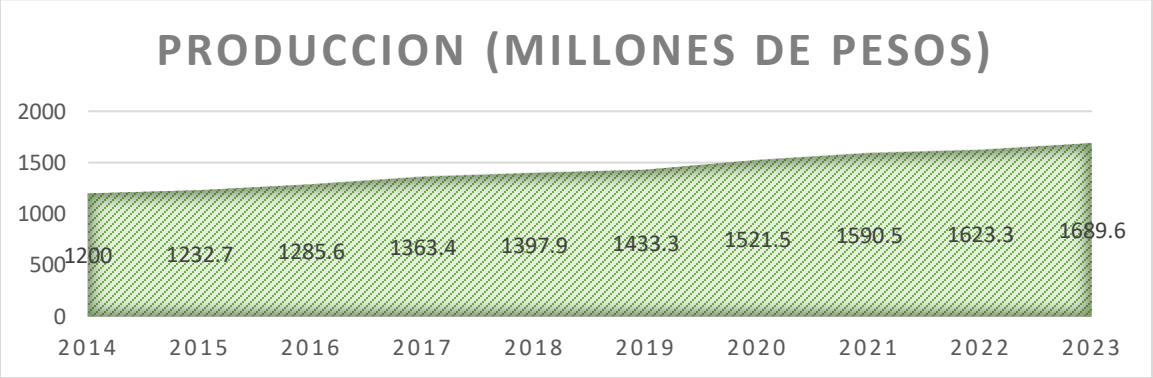
partir de residuos agrícolas) como alternativa viable frente a los combustibles fósiles, el mercado del etanol y las distintas formas de producirlo. En el tercer capítulo se detalla la metodología utilizada para recabar los costos: el Costeo Basado en Actividades *(ABC/M, por sus siglas en inglés de Activity-Based Costing/Management)* divide los costos en segmentos de actividad. Aquí se explica cómo y por qué el proceso se dividió en 4 actividades: desmenuzado, hilado, empacado y transporte. Mediante esta metodología se asignaron precios a los recursos y gastos utilizados en cada movimiento operativo en 10 hectáreas de la zona central del estado de Sinaloa, en el valle de Culiacán. En el cuarto capítulo se exponen los resultados obtenidos, en este capítulo se presenta el costo por paca de 20 kg, el costo por paca tirada (sin transporte/en el campo de investigación) y el costo por tonelada seca. En este capítulo también se realiza una breve comparación del resultado obtenido en esta región con el de otras regiones del mundo.

Capítulo I
CONTEXTO DEMOGRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO

México es un país con un enorme potencial para el desarrollo de energías renovables, un clima cálido y soleado no solo es ideal para la generación de energía solar, sino que también permite la siembra de cultivos durante todo el año que se pueden convertir en biocombustibles (Ruiz et al., 2016). Islas et al, (2007) concluyeron a través de un estudio que el uso de bioenergía puede alcanzar hasta el 16.17% del consumo total de energía y que la implementación de biocombustibles podría contribuir a reducir las emisiones de CO2 en 87.44 millones de toneladas para 2030. En cuanto a la infraestructura, incluye una extensa red de carreteras, puertos y centros industriales, además de bajos costos de mano de obra. Uno de los estados que destacan por su potencial energético es Sinaloa, debido a una combinación de factores geográficos, climáticos y económicos. Sinaloa se encuentra entre los cinco estados de México con los niveles más altos de radiación solar promedio diaria, oscilando entre 5.3 y 5.6 kWh/m² a lo largo del año. Esta abundante y constante radiación solar convierte a Sinaloa en un lugar ideal para el desarrollo de proyectos de energía solar a gran escala (CODESIN, 2017). También es técnica y económicamente viable establecer plantas de biogás para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ya que estos residuos contienen una alta proporción de materia orgánica biodegradable, ideal para la digestión anaeróbica. Las tecnologías disponibles para la producción de biogás son maduras y pueden adaptarse a diferentes escalas. al menos en las tres principales ciudades; Culiacán, Los Mochis y Mazatlán (Pérez, 2024). También es esencial mencionar que los sinaloenses tienen arraigada la cosecha de cultivos como forma de sustento familiar, muchos de los productores han recibido técnicas por parte de sus ancestros junto con maquinaria heredada y herramientas que facilitan los procesos de cultivo y por ende el potencial energético (Moran-Angulo et al., 2015). En las primeras décadas después de la lucha de la independencia su actividad económica más

rentable era la minería, la zona sur del estado era muy rica en minerales como el oro y la plata. La agricultura y la ganadería se concentraban en el norte, aunque eran mayormente de autoconsumo; ya se destinaban algunos productos al comercio local. Entre los productos cosechados se encuentran el maíz, el frijol, el garbanzo y algunas hortalizas, además de la caña de azúcar destinada a la producción de piloncillo. Por otro lado, en la ganadería se criaba ganado vacuno, caballar, cerdos, carneros y aves, que eran objeto de demanda en los principales centros de población del estado (Aguilar, s. f.). La explotación animal y el turismo adornan un sector primario dominante y un sector de servicios enriquecido (Maya, 2011).

Figura 1 *Producción agrícola en millones de pesos de Sinaloa*



Nota: En la figura 1 se muestra la producción agrícola del estado de Sinaloa de 2014 a 2023. Fuente: elaboración propia con datos del SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) de la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural).

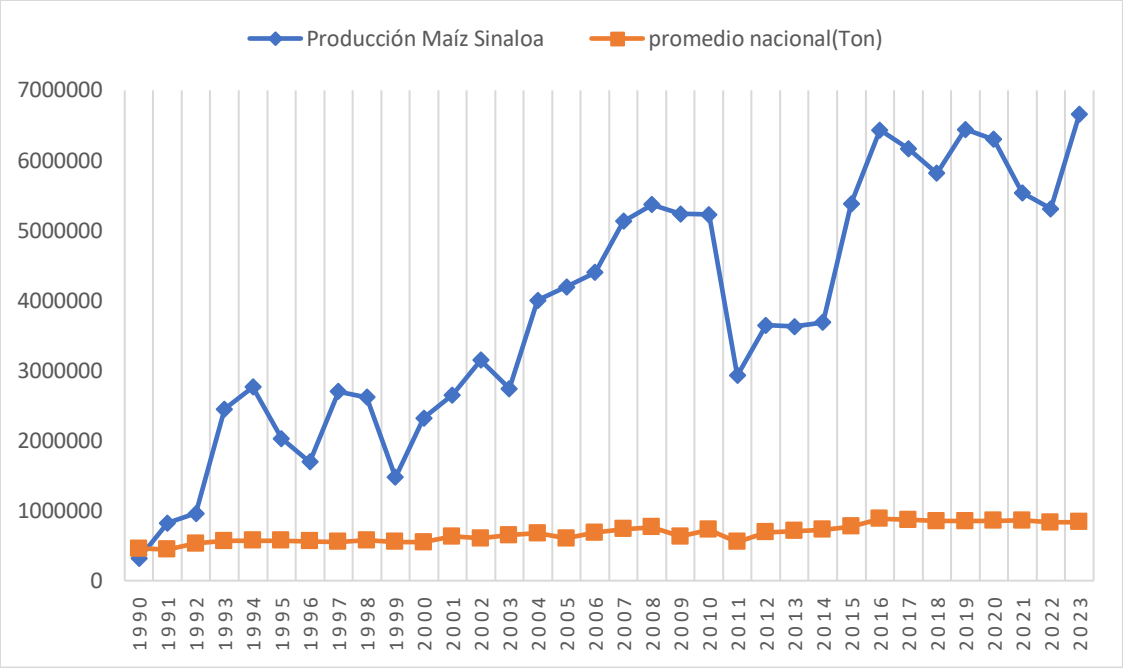
I.1.1 Sinaloa en números

En 2022, Sinaloa tuvo una proporción de 4 a 1 en el valor de la producción agrícola frente a la producción pecuaria, con un valor de $70 mil 194 millones de pesos, mientras que la pesca tuvo un valor de $17 mil 204 millones de pesos (SIAP, 2022). En 2023, Sinaloa cultivó un total de 1,016,995 hectáreas, 12,983 hectáreas menos que en 2022, pero logró un incremento en el valor de la producción agrícola de 9,993 millones de pesos, alcanzando en 2023 los $80,187 millones (CODESIN, 2023). Fue el tercer estado con mayor valor en el sector agrícola, solo por detrás de

Michoacán y Jalisco, con $115,749 millones de pesos y $112,335 millones de pesos, respectivamente (SIAP, 2023). Este aumento en el valor de la producción, pese a una menor superficie cultivada, tiene un impacto positivo en la economía sinaloense, ya que genera más ingresos para los productores, fortalece las cadenas de suministro agrícolas y mejora la competitividad del estado en la producción nacional, lo que contribuye a la estabilidad del sector agrícola. La agricultura es un pilar fundamental para el estado de Sinaloa, al representar no solo una fuente vital de ingresos y empleo, sino también un componente clave de la seguridad alimentaria y de la economía regional. En la figura anterior se muestra una gráfica de las tasas de crecimiento y de la producción agrícola en el estado de 2014 a 2023. Las caídas en la producción agrícola, como las observadas en 2020, afectan directamente al empleo, a los ingresos de los agricultores y a la cadena productiva. En el 2020, el mundo se vio afectado por el COVID-19; probablemente el decrecimiento se deba a ello. Para el resto de los años, se observa que el crecimiento del Estado es estable. Sinaloa es conocida como el "granero de México" por su capacidad de producción de cultivos como el maíz, el trigo, el frijol y las hortalizas, lo que le permite abastecer tanto al mercado nacional como a las exportaciones. El estado es líder en 8 productos agrícolas, uno de ellos es el maíz (Zea mays), siendo el cultivo más significativo del estado por superficie sembrada y volumen de producción. En el cultivo de maíz, hasta 1990, Sinaloa no figuraba entre los estados con mayor producción a nivel nacional (2.2%). Fue a partir de los primeros años de la década de 1990 cuando el cultivo de maíz en Sinaloa aumentó sustancialmente, representando ya para 1994 el 15.1% y en 2009 el 22.4% (Borja, 2013).El 94% del agua disponible en el estado se destina a actividades agrícolas, lo que subraya la importancia del sector para la economía local. Las sequías recientes han reducido la superficie sembrada y los rendimientos de cultivos clave, como el maíz, lo que ha afectado negativamente a la economía. La

gestión eficiente del agua y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles son esenciales para garantizar la estabilidad del sector agrícola y, por ende, de la economía sinaloense. Existen distintos tipos de productores agrícolas, algunos son grandes empresas con invernaderos y siembras tecnificadas, por otro lado, los pequeños productores que poseen terrenos ejidales. En cuanto a la productividad del sector, se puede decir que es bastante tecnificada: para producir una tonelada de maíz se necesitan menos de 0.1 hectáreas en Sinaloa, mientras que, en Chiapas, segundo productor nacional, se ocupan casi 0.5 hectáreas (Cruz y Leos, 2019). Una de sus ventajas a comparación con otros estados es la infraestructura financiera que ayuda a promover la cosecha de cultivos. Instituciones como la Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero y los Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura (FIRA) proveen crédito y fomento productivo al sector rural. Históricamente, los agricultores sinaloenses también han fundado sus propias instituciones financieras y se han integrado a organizaciones como la Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa (CAADES) para gestionar sus necesidades de crédito y financiamiento. La economía de Sinaloa no solo desarrolló una alta tecnificación de insumos y maquinaria, sino que el riego también es parte fundamental de su desarrollo agrícola. Las altas tasas de producción están ligadas a una buena gestión del agua. El gobierno federal ha sido un gran aliado del desarrollo de la infraestructura hidráulica masiva; el estado cuenta con presas y distritos de riego que permiten la siembra de diversos cultivos en todo el estado. Se le considera también como una entidad que exporta mucha horticultura, algunos de los productos que también se siembran en el estado son el tomate, chile verde, pepino y garbanzo. Muchos de estos productos se deben a la alta tecnificación; el uso de drones, tractores con gps, invernaderos y una variedad de software ayudan con las plagas y los climas extremos.

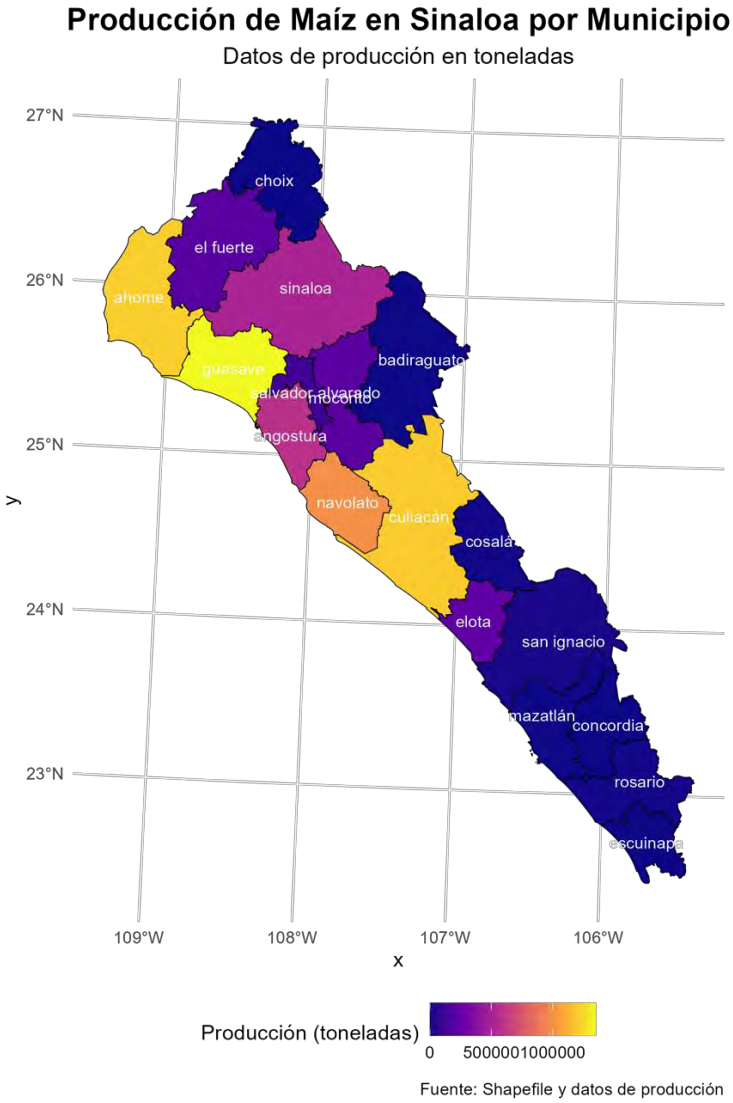
Figura 2 Producción de maíz de Sinaloa versus promedio de producción por estado de México (1990-2023).



Nota: La figura 2 muestra una comparación entre la producción del estado de Sinaloa y el promedio por estado de México, elaboración propia, con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

En la figura 2 se muestra la producción de maíz en Sinaloa en comparación con el promedio por estado de México, de 1990 a 2023. En la gráfica se puede ver que Sinaloa se despega del promedio nacional en 1993 y se convierte en lo que hoy se conoce como el granero de México. Mientras que el promedio nacional por entidad federativa se mantiene dentro de los márgenes de 500,000 y 1,000,000 toneladas, la producción del estado de Sinaloa experimentó incrementos significativos en 2016, 2019 y 2023. Hoy en día, los cultivos normalmente superan los 6 millones de toneladas, una cifra que es entre 7 y 8 veces mayor que el promedio de los demás estados. Estos números demuestran que Sinaloa opera bajo un modelo de agricultura comercial a gran escala, intensivo en capital y en tecnología. Además, estos incrementos coincidieron con la entrada en vigor del tratado de libre comercio y la liberalización de los mercados agrícolas. El aumento de la producción de maíz incrementa la generación de residuos agrícolas, lo que deriva en un excedente de producto subutilizado.

Figura 3 Municipios con más participación de siembra de maíz en Sinaloa 2023



Nota: En la figura 3 se muestra los municipios con más participación en la siembra de maíz en el estado de Sinaloa, utilizando el color amarillo para los municipios que más se produce y el azul para señalar los menos productores, elaboración propia en software R con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

En 2023, los cinco municipios con mayor producción de maíz en Sinaloa fueron Guasave, Ahome, Culiacán, Navolato y Angostura, con cifras que reflejan la importancia de esta actividad agrícola en la región. Para ilustrar mejor la producción del estado se creó la figura 3. El estado con mayor producción de maíz fue Guasave, con 1,354,657.63 toneladas, destacándose por su suelo fértil y

sus condiciones climáticas favorables. Ahome sigue con 1,211,284.4 toneladas, beneficiándose de una infraestructura agrícola robusta y de prácticas de cultivo eficientes. Culiacán, la capital del estado, aportó 1,201,063.6 toneladas, reconocida más bien como centro de comercio y distribución del maíz. Navolato, con 991,259.52 toneladas, y Angostura, con 582,733.81 toneladas, completan los 5 municipios con mayor participación en la producción de maíz. En conjunto, estos municipios representan una parte significativa de la producción de maíz en Sinaloa y contribuyen no solo a la economía local, sino también a la seguridad alimentaria de México. Sin embargo, existen posibilidades de mejora, como la reducción de los costos de riego, la elaboración de fertilizantes locales y la aprovechación de los residuos de millones de toneladas de maíz, que pueden utilizarse para producir biocombustibles. Estas alternativas no solo diversificarían sus ingresos más allá de la venta de granos, sino que también ayudarían a los productores a ser sostenibles y competitivos y, con ello, a mitigar la baja productividad derivada de las crisis climáticas y de los altos costos de los insumos.

I.1.2 Modelo lineal obsoleto en Sinaloa

El modelo lineal (tomar, hacer y desechar) nos ha llevado por un camino de desperdicio de riqueza. Incrementar la injerencia del estado, mediante instituciones sólidas y transparentes, puede ser un camino hacia la transición a un modelo circular (reducir, reutilizar, regenerar). La existencia de instituciones sólidas que formulen políticas para abordar cuestiones relacionadas con la eficiencia en el uso de recursos y la gestión de residuos es fundamental para una transición hacia una economía circular (Schröder et al., 2020). Ante un modelo de economía lineal que da signos de agotamiento, surge el modelo de economía circular, que se basa en la oportunidad de buscar alternativas para que los residuos dejen de serlo y, a su vez, se conviertan en recursos que vuelven a alimentar la economía (Saiz-Aja et al., 2016). Una economía circular considera el desarrollo de

los sectores ambiental, económico y social; por ende, se traduce en una sociedad más próspera, saludable y capaz de mitigar los cambios climáticos. La Fundación Ellen MacArthur define la economía circular como un marco de soluciones sistémicas que aborda desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación (Fundación Ellen MacArthur s.f.). En el caso de Sinaloa y de la transición a una economía circular, es recomendable obtener productos innovadores a partir de los residuos generados por las cosechas, de manera que se aprovechen los subproductos. Las propuestas no solo deben aprovechar un residuo, sino también hacerlo de manera que beneficie al medio ambiente. Es necesario poner imaginación y creatividad para ver recursos y posibilidades donde, a veces, solo se ven residuos o materiales no aprovechables (Cervantes, 2021). Otra actividad que favorece la transición hacia una economía más favorable a la población es la agricultura sostenible, que promueve una producción agrícola sin dañar el medio ambiente, las generaciones futuras ni la seguridad alimentaria (Sharma et al., 2019). Con un modelo basado en un monocultivo intensivo de maíz y otra pequeña parte de siembra de granos, son evidente claros signos de desgaste. Otra cosa que este modelo acarrea es la sobreexplotación de recursos naturales como el agua y el suelo, que, con el abuso de agroquímicos, provoca problemas de erosión, salinización y contaminación (García y Rodríguez, 2012). También es importante señalar que la producción excesiva de un solo producto dificulta y reduce la rentabilidad de su comercialización. Ante estas problemáticas, es urgente una transición hacia un modelo sustentable y respetuoso con el medio ambiente. Un camino prometedor es aprovechar los residuos y subproductos generados localmente por las actividades agrícolas e industriales, que hoy se desperdician y se mal gestionan. En particular, los rastrojos de maíz tienen un gran potencial para producir bioenergía y biocombustibles avanzados, como el etanol celulósico. El bioetanol lignocelulósico tiene una ventaja significativa frente a otros tipos de bioetanol, ya que este tipo de

producción no compite con la producción de etanol que utiliza alimentos como materia prima y, por lo general, no genera preocupaciones para un futuro sustentable (Orlandi, 2020). Sin embargo, este tipo de biorrefinerías requiere importantes inversiones iniciales y aún enfrenta limitaciones tecnológicas y económicas que dificultan su competencia frente a los combustibles fósiles. Por lo tanto, es clave el apoyo por parte de sector público para que se faciliten instrumentos de financiamiento, subsidios focalizados, exclusiones fiscales y ayuda a los productores con el costo de los insumos Estos beneficios son fundamentales para fortalecer la institucionalidad pública y privada y con eso promover la innovación productiva, generando nuevos clústeres de redes colaborativas con productores, procesadores, transportistas, comercializadores, centros de investigación y autoridades de gobierno (Hazy et al., 2008). Es cuestión de estar a la altura del desafío sistémico que esta transformación conlleva. Los residuos agroindustriales pueden contribuir de manera importante a la economía circular, ya que pueden ser usados como materias primas en diferentes procesos de producción. Estos residuos se pueden clasificar en dos tipos diferentes. Por un lado, residuos de campo, como hojas, tallos, vainas de semillas y tallos que permanecen en el campo después de la cosecha. Por otro lado, los residuos de procesos, como melaza, cáscaras, bagazos, vástagos, semillas, hojas, tallo, paja, pulpa, rastrojo y raíces, que están presentes después de que los cultivos se transforman en productos para consumo final (Zainudin et al., 2022). Los residuos agrícolas pueden ayudar a mejorar la economía de Sinaloa fomentando la economía circular, utilizando los residuos para elaborar compostaje y producir abonos orgánicos de alta calidad que luego pueden venderse a los mismos agricultores, sustituyendo fertilizantes químicos. También existen investigaciones que indican que la presencia de residuos en la labranza de conservación favorece el aumento del carbono orgánico cerca de la superficie (Wood et al., 1991). Otra opción, para no desechar ni quemar los residuos agrícolas, es la conversión en

bioenergía y/o biocombustible, que, de igual forma, puede colaborar a reducir la dependencia de combustibles fósiles. La soca de maíz tiene potencial para ser aprovechada como materia prima en la producción de etanol a partir de celulosa. Sin embargo, para determinar la factibilidad económica de esta alternativa, es necesario conocer en detalle los costos asociados a la recolección, el transporte y el acondicionamiento de este producto. Las preocupaciones para concretar el segundo objetivo de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, que busca lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible, han dado lugar a la posibilidad de utilizar biocombustibles a partir de biomasa celulósica, como residuos agrícolas y residuos sólidos urbanos (Yuanrong et al., 2021). Avanzar en esta dirección podría acarrear grandes beneficios económicos, sociales y ambientales para Sinaloa. La clave está en impulsar activamente la transición con una visión a largo plazo. La oportunidad de liderar la economía circular mediante principios innovadores está presente en Sinaloa.

I.2. Planteamiento del problema

La necesidad de incrementar la producción de alimentos, debido al crecimiento de la población, se traduce en un aumento de las áreas sembradas. En el estado de Sinaloa, el rastrojo de maíz es un residuo agrícola abundante y presenta un potencial significativo como fuente de biomasa para la producción de etanol. Sin embargo, su uso efectivo depende de una logística adecuada que garantice la recolección, el transporte y la transformación eficiente del rastrojo en biocombustible. Con el creciente interés en las energías renovables y la necesidad de buscar alternativas sostenibles para ingresar al mercado de subproductos generados por los cultivos agrícolas en Sinaloa, surge la oportunidad de investigar el rastrojo de maíz como materia prima para la elaboración de etanol. Para tener un mayor conocimiento de las posibilidades de este producto, se buscarán los costos asociados a la recolección, el empacado, el transporte y el

almacenamiento del rastrojo de maíz. En el presente caso de estudio, se analiza específicamente el costo de producción del rastrojo de maíz en un área de 10 hectáreas sembradas en la zona central del estado de Sinaloa, con el fin de identificar los principales factores económicos que limitan su aprovechamiento para la producción de etanol. En Sinaloa, los efectos del cambio climático se manifiestan en forma de sequías, reducción de la disponibilidad de agua en las presas, aumento de las temperaturas y fenómenos meteorológicos. Todos estos fenómenos, a su vez ponen en riesgo la sostenibilidad del sector agrícola, pues los climas extremos pueden alterar los rendimientos de los cultivos.

I.3. Objetivos de la investigación y área de estudio

Objetivo General

Identificar y analizar los costos asociados a la producción y la logística del rastrojo de maíz, a fin de comparar los resultados con la literatura científica.

Objetivos en específico

1.Recabar los costos asociados al desmenuzado, hilerado, empacado y transporte del rastrojo de maíz de Sinaloa en 10 hectáreas sembradas mediante la metodología de Costeo Basado en Actividades.

2.Obtener el costo por paca de 20 kg de rastrojo de maíz en Sinaloa.

3.Obtener el costo por tonelada de rastrojo de maíz, un dato esencial para evaluar la rentabilidad económica de una planta potencial de etanol a partir de materiales celulósicos.

Tipo de Estudio:

Estudio de caso descriptivo y analítico con enfoque cuantitativo.

Área de estudio: lote de 10 hectáreas sembradas con maíz en Santa Refugio, Sinaloa, con las coordenadas 24°15'40.0"N 107°08'10.0"W (zona central del estado de Sinaloa).

Figura 4 Mapa satelital del predio



Nota: Fuente: Elaboración propia con Google Earth Pro

I.4. Justificación del estudio

México se encuentra en una burbuja en lo que respecta a su política energética y su compromiso con la mitigación del cambio climático. A pesar de las reformas y los compromisos internacionales, el impacto de las energías renovables en la reducción de las emisiones de GEI en México ha sido mínimo. El uso del rastrojo de maíz para la producción de etanol celulósico puede contribuir a reducir las emisiones de GEI, ya que se considera un combustible de bajo contenido de carbono. Hay evidencia que respalda la idea de que la producción de etanol celulósico a partir de residuos agrícolas, como el rastrojo de maíz, puede reducir las emisiones de GEI en comparación con la gasolina convencional (Talang et al., 2024). Además, el uso del rastrojo de

maíz para la producción de etanol no compite con la producción de alimentos, lo que aborda una preocupación común asociada a los biocombustibles de primera generación. La utilización del rastrojo de maíz para la producción de etanol celulósico ofrece múltiples beneficios ambientales y agrícolas; ya sea quemado o dejado para descomponerse, constituye una valiosa fuente de energía renovable. El desarrollo de una industria de etanol celulósico podría generar empleo en áreas rurales y fomentar la innovación tecnológica en el sector de la bioenergía. Aun siendo un país con abundantes recursos naturales, enfrenta desafíos en la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible. Esta tesis se justifica por la urgente necesidad de abordar estos desafíos y de proponer soluciones viables para acelerar la adopción de energías renovables en México. Este potencial no aprovechado representa una oportunidad significativa para la investigación y el desarrollo de estrategias que aceleren la adopción de energías renovables en México y contribuyan al cumplimiento de los compromisos climáticos del país y a la transición hacia una economía sustentada en combustibles de bajo carbono.

I.5. Preguntas e hipótesis de la investigación

Pregunta general

¿Cuáles son los costos de producción y logística de las pacas de rastrojo de maíz en Sinaloa y cómo se comparan con los reportes de la literatura científica?

Preguntas en específico

¿Cuáles son los costos asociados al desmenuzado, al hilerado, al empacado y al transporte de pacas de rastrojo de maíz en 10 hectáreas sembradas en Sinaloa?

¿Cuál es el costo de producir una paca de 20 kg en Sinaloa?

¿Cuál es el costo de producir una tonelada de rastrojo de maíz en pacas de 20 kg en Sinaloa?

Hipótesis

Los costos reales de producción y logística del rastrojo de maíz en Sinaloa resultan competitivos en términos financieros en comparación con los reportados en la literatura científica para la producción de etanol.

Culiacan, Sinaloa 26 de Agosto, 2026

Capítulo II
ENERGÍA RENOVABLE COMO NUEVO PARADIGMA

La ciencia puede definirse como la búsqueda del conocimiento que ayuda a comprender la naturaleza mediante un método basado en la evidencia. En años recientes, mediante el método científico, la sociedad ha trabajado para resolver los problemas de escasez de recursos. El resultado de varias investigaciones ha detectado problemas de mercado que, con analogía al autor Thomas Samuel Kuhn, pueden considerarse un paradigma y sus anomalías. Ante las dificultades para definir la palabra paradigma, Kuhn planteó la siguiente generalización: "el paradigma es aquello que comparten los miembros de una comunidad científica en particular" (Contreras, 2004). Un paradigma está compuesto por problemas teóricos, supuestos, métodos y técnicas de resolución interconectados (Gonzales, 2005). Continuando con la analogía de Kuhn, la ciencia atraviesa periodos de normalidad, en los que los economistas se desempeñan sin problemas. Después de cierto tiempo llega el momento en que comienzan a surgir anomalías y el propio paradigma no es capaz de resolverlas sin necesidad de un cambio (Acosta Ruiz, 2005). El paradigma entra en crisis cuando surgen anomalías que el modelo no puede explicar ni resolver; es ahí cuando aparece la oportunidad de que aparezca un nuevo paradigma o, según Kuhn, una revolución científica. Solo un nuevo paradigma resuelve con éxito las anomalías a las que el anterior no puede dar respuesta. Según Kuhn, el cambio comienza con la rivalidad entre paradigmas: uno engloba un conjunto de teorías y supuestos que no resuelven una anomalía, mientras que otro sí la resuelve (Hernández, 2007). Actualmente, se observa la coexistencia de dos paradigmas energéticos: el convencional y el de las energías renovables. El primero de estos paradigmas está dominado por las energías fósiles y nucleares. Mientras que el paradigma emergente es el de las energías renovables. En años recientes, con la expansión global de la producción de biocombustibles como el bioetanol y el biodiésel, se ha observado un aumento en la calidad de las patentes y una mayor complejidad en

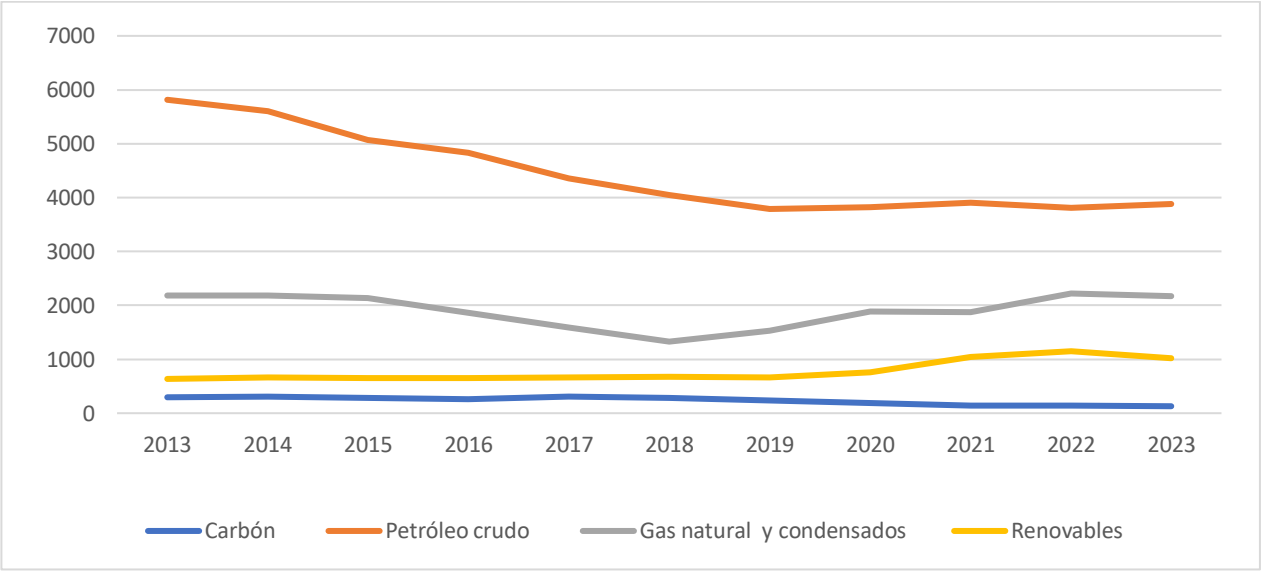
las colaboraciones relacionadas con la bioenergía (Bueno et al., 2018). Los cambios existentes en el uso de la energía a nivel global emergen como respuesta a la anomalía llamada cambio climático, la cual solo puede solucionarse mediante un cambio de paradigma.

II.1.1 Transición energética

En un mundo perfectamente racional, bastaría con estudiar los procesos naturales para comprender las necesidades que el medio ambiente exige. En una utopía, las personas toman decisiones lógicas, basadas en pruebas y resultados, y los cambios son suaves y no turbulentos. Pero vivimos en un mundo en el que las cuestiones más minuciosas y las tareas cotidianas generan un descontrol desproporcionado. Aun con muchas inversiones, consejos de universidades prestigiosas e instituciones de apoyo, apenas existen iniciativas hacia un mundo ambientalmente sostenible. A través de este estudio se busca fomentar un cambio de mentalidad y de las formas de generar energía, ya que estos procesos han estado determinados por un paradigma convencional y/o por dogmas científicos. (Linares, 2018) Pedro Linares define la transición energética como una solución clave para alcanzar la sostenibilidad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A diferencia de transiciones anteriores, impulsadas por circunstancias externas como la escasez de recursos, la transición energética se percibe como una decisión que surge de la conciencia de la sociedad. Durante casi 200 años, el combustible idealizado y utilizado en todo el mundo ha sido el petróleo, un mineral de extracción complicada, en forma de oro negro, que, a pesar de imperar en la vida cotidiana y convertirse en protagonista de las relaciones internacionales, ha sido revitalizado con el descubrimiento de nuevas tecnologías que han permitido explorar yacimientos hasta entonces considerados inalcanzables e inexplotados. En 1780, el 90% de la energía consumida por la sociedad provenía de la madera. Al finalizar el siglo XIX, el 90% de la energía consumida en Europa ya provenía del carbón (Sarabia et al., 2022).

Principalmente, quienes se han enriquecido con la industria del petróleo han intentado desprestigiar diversas tecnologías de energías renovables. En América Latina, la transición energética es heterogénea y está marcada por las diferencias en las estructuras energéticas, las agendas políticas y los recursos económicos entre los países. En Uruguay, el país ha adoptado un modelo energético exitoso, con una matriz eléctrica compuesta por el 93% de energías renovables. Este cambio positivo se ha logrado debido a la estabilidad institucional y a la integración de actores públicos y privados (Energía, F. G. V. 2016). Brasil, México y Argentina buscan un cambio; sin embargo, entre los impedimentos se encuentran la falta de infraestructura económica y productiva. Aun así, la región latinoamericana tiene ventajas en términos de recursos naturales, como la alta irradiancia solar y el potencial eólico en regiones como la Patagonia y el Istmo de Tehuantepec (Sarabia et al., 2021). En Europa, existen estrategias que fomentan la transición energética, como el proyecto Energiewende de Alemania, que combina la reducción del uso de energía nuclear, la integración de renovables y la participación ciudadana. La región alemana destaca por su infraestructura madura, sus políticas de largo plazo y su alta inversión en investigación y desarrollo tecnológico (Morris et al., 2012). Para lograr una transición energética es importante una mayor integración de la sociedad en la toma de decisiones, ya que la falta de compromiso público limita la implementación de políticas que exijan resultados. Mientras que en Europa los ciudadanos participan activamente en la formulación de políticas energéticas, en América Latina estas suelen definirse desde una perspectiva gubernamental, con escasa participación ciudadana. Aunque las matrices eléctricas de la región se basan en la hidroelectricidad, energías solar y eólica, el camino hacia la descarbonización total enfrenta importantes obstáculos estructurales, económicos y logísticos. Además, es indispensable un marco jurídico que sea alentador para la inversión privada y se adapte a la situación fiscal de cada país.

Figura 5 Comportamiento de la producción de energía primaria en México 2013-23 (petajoules)



Nota: La figura 5 muestra el comportamiento de la producción de energía en México de 2013 a 2023. Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Energía (SENER)

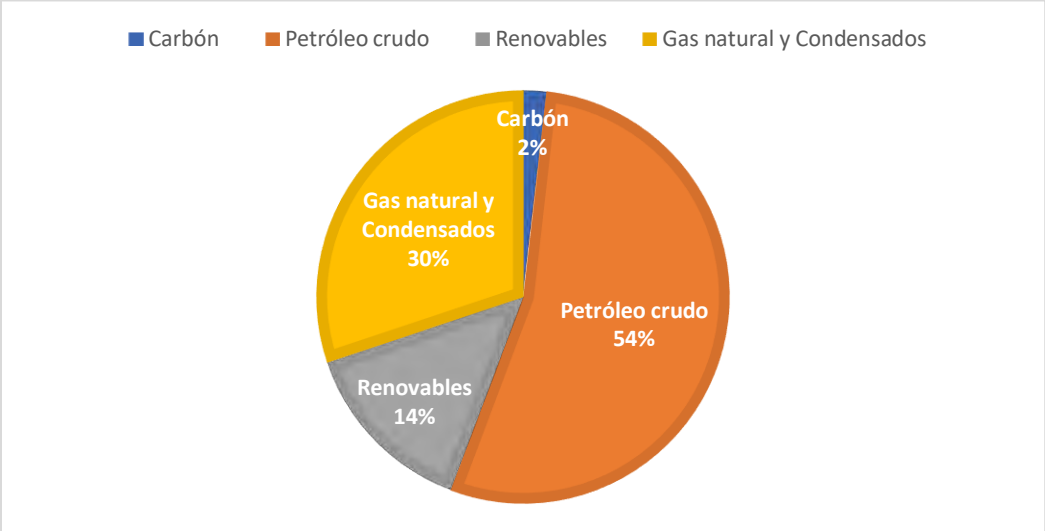
II.1.2 Uso de energía de México y el mundo

Las centrales térmicas convencionales que operan en México suelen utilizar combustibles fósiles como carbón, gas natural o petróleo para calentar agua y producir vapor, que a su vez mueve turbinas que generan electricidad. Una vez generada, la electricidad se transmite y distribuye a través de infraestructuras como torres y cables subterráneos hasta las subestaciones, donde se ajusta la tensión para su distribución a hogares y empresas. En cuanto a la variación de la materia prima, en el año 2001 el 52% de la oferta bruta total energética se generaba con base en el petróleo crudo; en ese mismo año, las energías renovables contribuían con 8,7% (Catalán, 2021). Para el periodo de 1990 a 2019, el consumo total de energía porcentual procedente de energías fósiles aumentó del 87.4% al 90.4%; en los mismos años, las energías renovables aumentaron del 17.05% al 17.54% (Ramos et al., 2023). En 2023, el petróleo crudo representó el 52.65% del total de la energía primaria producida en México; el siguiente producto, con 29.43%, fue el gas natural y los

condensados, y las energías renovables representaron el 13.77%. El gas natural ha avanzado en el consumo primario de energía. Esta transición ha sido motivada por diversos factores, como las políticas ambientales, los bajos precios del gas natural en la región y la mayor eficiencia de las plantas de ciclo combinado. México se encuentra en plena transición energética, con expectativas de crecimiento y de adaptación a nuevas tecnologías más limpias. Con un enfoque en la sostenibilidad y la reducción de emisiones, se espera que la participación de las energías renovables en la matriz energética nacional aumente considerablemente en los próximos años. Aun así, México carece de regulaciones específicas que faciliten su implementación, de modo que el país logre sus metas de transición energética y reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero. Es crucial adoptar políticas que fomenten el despliegue de tecnologías en el sector energético. Tras la reforma energética de 2013 en México, que permitió la inversión privada en el sector eléctrico, se identificó la necesidad de integrar más energías renovables a la matriz energética del país. Este cambio buscaba diversificar las fuentes de energía, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y fomentar la sostenibilidad ambiental. Además, las políticas energéticas actuales en México continúan favoreciendo la generación de energía a partir de combustibles fósiles, lo que constituye un obstáculo significativo para lograr una transición hacia una matriz energética más sostenible y para cumplir con los compromisos de mitigación del cambio climático establecidos en la legislación. La reforma abrió el mercado eléctrico a la competencia, permitiendo que las empresas privadas participaran en la generación de energía, mientras que el Estado mantenía el control de la transmisión y la distribución. Esto impulsó proyectos de energía solar, eólica y otras fuentes limpias. Bioenergéticos, como el etanol celulósico, se reforzaron con metas como alcanzar un 35% de generación eléctrica de fuentes limpias para 2024. Según el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (Prodesen)

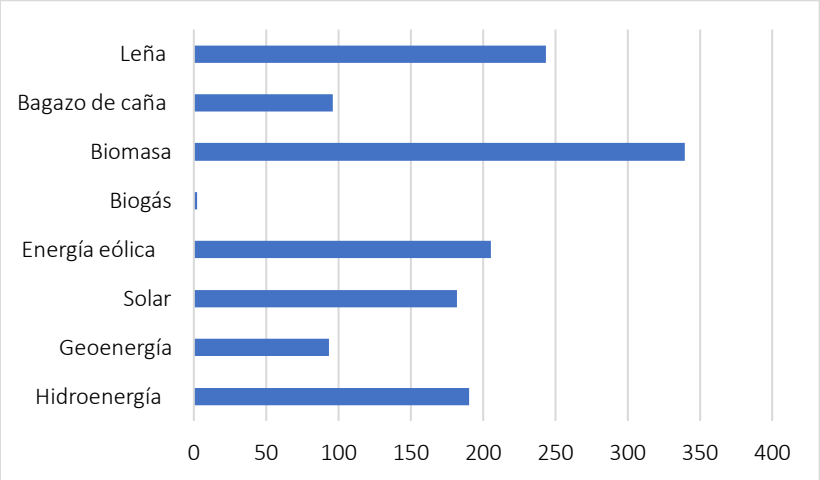
2023-2037 de la Secretaría de Energía, la meta es que, para 2050, el 50% de la energía producida provenga de fuentes limpias. Entre otras cosas, contempla la adición de 150 mega watts (MW) de capacidad nuclear y la conversión de 1,024 MW de ciclos combinados para usar una combinación de gas natural e hidrógeno verde. México tiene un gran potencial para generar electricidad a partir de fuentes renovables. Las principales tecnologías renovables utilizadas para generar electricidad son la hidroeléctrica, los parques eólicos terrestres y la geotérmica; sin embargo, el gobierno debe fomentar su uso mediante los mecanismos adecuados para alcanzar sus objetivos (Pérez-Denicia et al., 2017). En cuanto al resto del mundo, en 2023 en Estados Unidos la demanda de generación de energía a partir de carbón disminuyó en 19% o 155 terawatt-hour (TWH). La mayoría de esta reducción fue remplazada por otro tipo de energías que, a su vez, reducen las emisiones de gases CO2; la demanda de gas natural se incrementó en un 7% (113 TWH) y la demanda de electricidad generada a partir de paneles solares se incrementó en un 14% (21 TWH) con respecto al 2022 (EIA, 2023). Se espera que, para 2028, las energías renovables de Estados Unidos, la Unión Europea, India y Brasil se dupliquen. La República Popular de China, por su parte, se ha convertido en promotora de la generación de energía, impulsada por el atractivo tecnológico y por reformas que fomentan las energías renovables. Pronto alcanzará su objetivo nacional planteado para 2030: producir el 25% de la energía primaria no renovable. El 30 de junio de 2015, China se comprometió oficialmente a alcanzar el pico de emisiones de CO2 para el 2030, además de reducir las emisiones de CO2 por unidad de PIB entre un 60% y un 65% con respecto al nivel de 2005. (Qilin et al., 2018). La expansión de las energías renovables también se extiende a otras partes del mundo. En el Medio Oriente y el norte de África, las energías solares y eólicas terrestres se han visto favorecidas por políticas públicas que han logrado reducir los costos de la competencia (IEA, 2024).

Figura 6 Producción de energía en México 2023



Nota: En la figura 5 se muestran los niveles de producción de diferentes fuentes de energía en México en 2023. Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Energía (SENER)

Figura 7 Producción de energía renovable en México (2023)



Nota: En la Figura 7 se muestran los principales tipos de energía renovable en México en 2023. Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Energía (SENER)

II.2 Políticas regulatorias de México

En México, la actual presidenta Claudia Sheinbaum, de acuerdo con el proyecto 100 pasos para la transformación 2024-2030, basará su política energética en dos tareas fundamentales: garantizar el correcto funcionamiento del sector energético durante su mandato y construir bases sólidas para redirigirlo hacia un futuro sostenible (Rivera, 2024). Según el investigador Luis Armando Becerra (2020), la razón por la que México no produce energías renovables se debe a la escasa infraestructura institucional y a que, en el ámbito privado, el desarrollo resulta difícil debido a la rentabilidad de estos procesos frente al costo de los combustibles derivados del petróleo. Sin embargo, en los años recientes, el país ha tratado de trazar una línea que lo guíe hacia un futuro renovable. El 5 de junio de 2012, el presidente Felipe Calderón Hinojosa promulgó la Ley General del Cambio Climático (LGCC). Lo primordial de esa legislación fue la mitigación de GEI y la adaptación consecuente a los daños existentes. En 2018, la legislación fue actualizada para fortalecer el marco legal y abordar con mayor eficacia los desafíos planteados por el cambio climático, además de impulsar un cambio positivo en las obligaciones internacionales del país. (Ramos et al., 2020). El 24 de diciembre de 2015 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley de Transición Energética (LTE), que busca regular el aprovechamiento sustentable de las energías, además, de establecer obligaciones en materia de energías limpias y la reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica. Esta ley fue diseñada para promover la diversificación de la matriz de generación eléctrica y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la incorporación de energías renovables. En su versión más reciente, la LTE continúa siendo un componente crítico de la estrategia de México para la transición hacia energías sostenibles. La ley introdujo mecanismos, como los Certificados de Energía Limpia (CEL), para incentivar la generación de energía renovable. Estos certificados se

emiten a los generadores de energía renovable. La ley también obliga a las grandes empresas a consumir energías limpias; es decir, si una gran empresa que consume energía no cuenta con este tipo de certificados, tiene que comprarlos a una empresa de energías limpias. La transición a energías limpias se venía dando de manera institucional; sin embargo, en 2020 se introdujeron nuevas regulaciones federales que cambiaron el enfoque de apoyo a las energías renovables, favoreciendo a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de propiedad estatal, lo cual contradice en cierta medida los objetivos originales de la LTE. Para que México reduzca las emisiones de GEI, se requiere fortalecer el financiamiento internacional y fomentar la innovación y la transferencia de tecnología. México también enfrenta un pleno agotamiento de sus reservas de petróleo, por lo que resulta imprescindible el éxito en la explotación de recursos naturales renovables.

II.2.1 Sector privado de la energía en México

En beneficio del sector privado, en 2014 se promulgó la Reforma Energética, que buscó impulsar la competencia, abordar la falta de recursos para invertir, los altos riesgos inherentes a las actividades de exploración y producción, así como las dificultades técnicas y financieras para explotar el petróleo en aguas profundas (Clavellina Miller, 2014). Hasta 2014, en México, la CFE era la única que compraba y vendía energía eléctrica para el servicio público del país. La Reforma Eléctrica no contempló la desaparición de la CFE, sino que, mediante un nuevo estatuto jurídico, se transformó en una empresa denominada empresa productiva del estado. La ley no considero privatizar las redes de transmisión ni de distribución, sino que operarían por un nuevo organismo autónomo denominado Centro Nacional de Control de Energía, quien sería el encargado de operar el sistema eléctrico en las condiciones de continuidad, seguridad y eficiencia técnica y económica, con imparcialidad para permitir el libre acceso a la red eléctrica de las empresas privadas, siendo

esto una condición necesaria para tener un mercado competitivo de energía eléctrica. En la búsqueda de resolver las problemáticas del cambio a energía limpia, surgió el Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE-Bio), que se dedica al desarrollo de tecnologías para aprovechar de manera sostenible la energía de residuos y/o subproductos a partir de biomasa. El clúster CEMIE-Bio centra su investigación en temas como el etanol lignocelulósico, los biocombustibles sólidos, el biodiésel y el biogás. Además, se encarga de analizar los retos reales de la recolección, transporte y almacenamiento de residuos de biomasa. También cuenta con una plataforma que contiene mapas interactivos y bases de datos sobre la disponibilidad técnica y teórica del rastrojo de maíz en diferentes regiones de México. México es un país con más de una década de intentos de implementar programas de adopción de mezclas de gasolina con etanol (Abreu, 2022). La reforma energética marcó un hito en la modernización del sector mexicano, al abrir el camino a la inversión privada. Sin embargo, las actualizaciones recientes han revertido muchos de los avances logrados, priorizando a la CFE y limitando la participación del sector privado. Esto ha creado un entorno desafiante para las energías renovables y los biocombustibles, a pesar de su potencial para contribuir a la transición energética y la sostenibilidad ambiental. El futuro del sector dependerá de la capacidad del gobierno para equilibrar las prioridades estatales con la necesidad de fomentar la innovación y la inversión en tecnologías limpias (Ramos et al., 2020).

II.2.2 Ley de biocombustibles

El documento jurídico emitido por el Poder Ejecutivo de México establece el marco normativo que rige la transición hacia las energías renovables. Tiene por objeto promover el desarrollo sustentable de los biocombustibles, con el fin de coadyuvar a la soberanía, la justicia y la autosuficiencia energética. Este instrumento proporciona una base jurídica para promover el

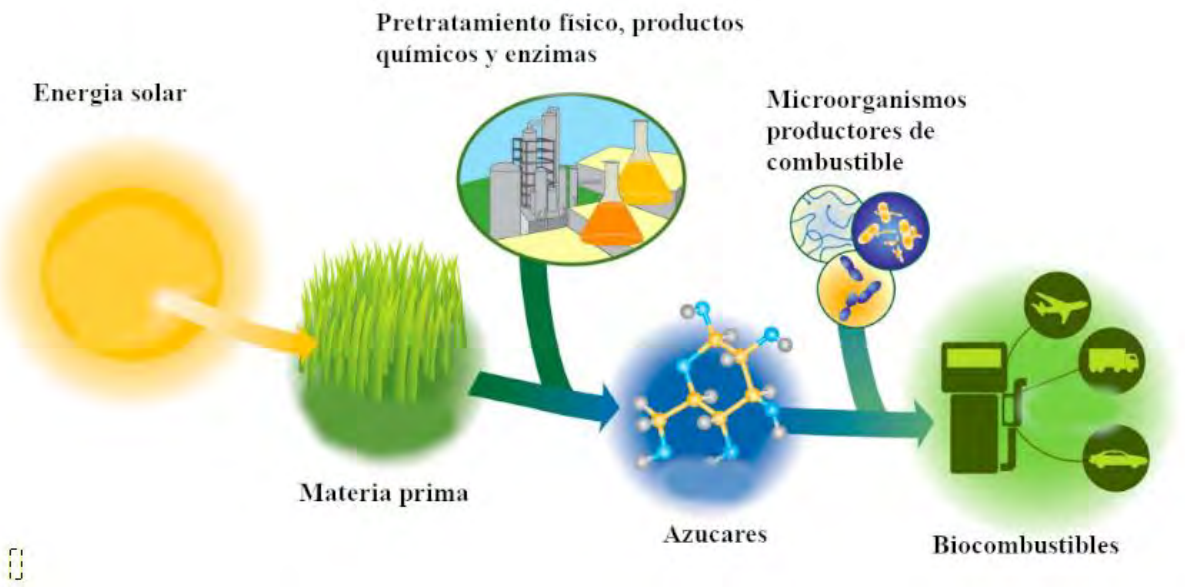
aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos para la producción de biocombustibles, promover la producción sustentable de biomasa para la producción de biocombustibles, desarrollar e impulsar mecanismos para incentivar el uso directo de la biomasa como biocombustible, contribuir con la reducción de las emisiones contaminantes al atmosfera y coordinar acciones entre los gobierno federal, de las entidades federativas, de los municipios y las demarcaciones territoriales de la ciudad de México. Este reglamento define formalmente el bioetanol como combustible líquido producido mediante la fermentación de carbohidratos procedentes de biomasa y residuos orgánicos. Esto valida legalmente el uso de subproductos agrícolas, que antes quedaban en un vacío normativo. La Secretaría de Energía (SENER) se encarga de otorgar permisos de producción, almacenamiento y comercialización. La ley también regula la importación, la exportación, la distribución y el expendio al público. En la cuestión de los residuos agrícolas, SADER y SEMARNAT cooperarían en la gestión y la interpretación del reglamento. SENER también se encarga de gestionar una cartera de proyectos de investigación y desarrollo que, a la larga, pueden ayudar a identificar proyectos realmente capaces de mitigar el cambio climático. Dentro de la ley se encuentra el fundamento de la no competencia con la seguridad alimentaria; la ley señala que la producción de energéticos no debe comprometer la disponibilidad ni los precios de los alimentos básicos para la población. Además, la normativa introduce criterios de justicia energética y desarrollo rural; por ejemplo, en regiones de alta producción de maíz, la ley protege la integración de los agricultores en la cadena de valor, permitiendo obtener mayores ingresos por la venta de un producto que en ocasiones se considera un desecho.

II.3 Bioetanol

El bioetanol (alcohol etílico, alcohol de grano, CH3–CH2–OH o ETOH) es un biocombustible que puede obtenerse mediante diversas tecnologías y a partir de distintas materias

primas. El etanol, como también se le conoce, es un combustible alternativo muy atractivo debido a su estructura oxigenada, que tiene el potencial de reducir las emisiones de algunos motores (Balat et al.,2008). También se ha incluido en el negocio de perfumería, en el de saborizantes y esencias, y en el ámbito farmacéutico. El uso de etanol se ha convertido en uno de los métodos más utilizados por su efectividad en la reducción de GEI, también juega un papel importante en la reducción de smog y ozono a nivel de suelo (RFA, 2017).

Figura 8 Proceso de biología de la bioconversión de energía solar en biocombustibles.



Nota: Adaptado de Genomics of cellulosic biofuels (Rubin , 2008)

Uno de los principales aportes del etanol es la reducción de emisiones de GEI. Al quemarse, el etanol emite menos dióxido de carbono que la gasolina, y el CO2 liberado es parcialmente compensado por el que las plantas capturan durante su crecimiento, lo que contribuye a reducir la contaminación atmosférica y a mitigar el cambio climático. Dicho esto, la capacidad de capturar CO2 y utilizarlo no es significativa en comparación con las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Mac Dowell et al., 2017). La recomendación de los científicos sigue siendo que la

única manera de mitigar el cambio climático es disminuir progresivamente el CO2 desde su origen, los combustibles fósiles. Algunos países han optado por fomentar políticas y regulaciones ambientales que promueven la mezcla de etanol con gasolina, como ocurre en Estados Unidos, Brasil, Francia, Alemania, Suecia y España.

II.3.1 Mercado del etanol

El uso del etanol ha evolucionado desde aditivo hasta convertirse en uno de los productos más importantes para la descarbonización del sector del transporte. La pandemia de COVID-19 tuvo un impacto significativo en el mercado global de etanol. En 2020 y 2021, el mundo experimentó una caída de la demanda de combustibles. Las restricciones de movilidad, el cierre de fronteras y la disminución del transporte terrestre y aéreo redujeron considerablemente el consumo de gasolina, lo que afectó directamente la demanda de etanol.

Tabla 1 Producción anual de etanol (millones de galones)

Región	2020	2021	2022	2023	2024	%Mundial
Estados Unidos	13,941	15,016	15,361	15,580	16,219	52%
Brazil	8,100	7,320	7,400	8,470	8,780	28%
India	530	950	1,220	1,510	1,630	5%
Unión Europea	1,310	1,380	1,420	1,390	1,440	5%
China	940	900	960	1,070	1,200	4%
Canadá	429	434	447	454	464	1%
tailandia	390	350	380	340	360	1%
Argentina	210	270	310	310	310	1%
resto del mundo	630	690	722	806	807	3%
Total	26,480	27,310	28,220	29,930	31,210	

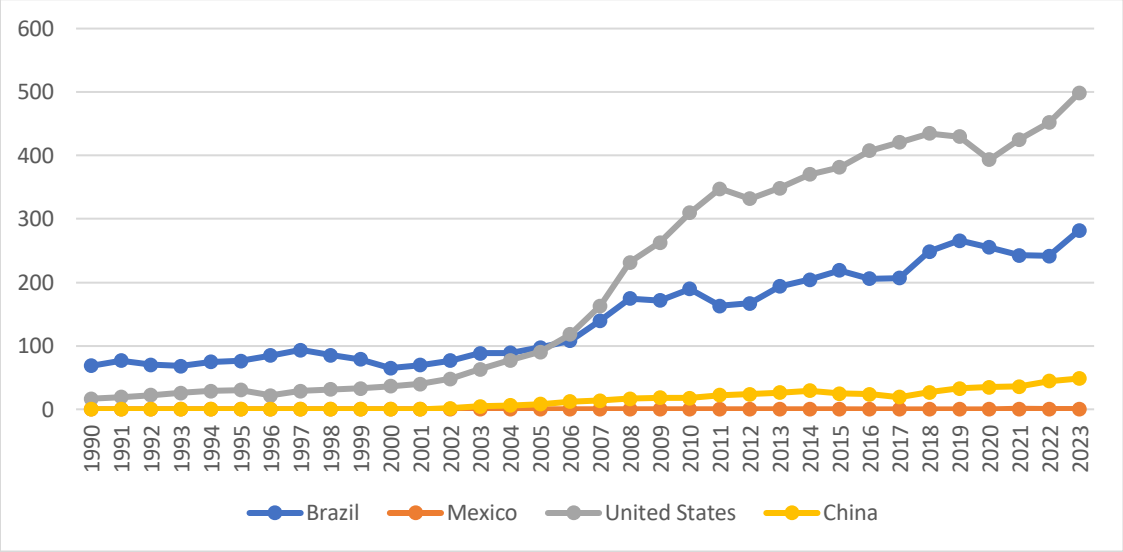
Nota: Elaboración propia con datos de Renewable Fuels Association (RFA)

En Estados Unidos, la producción de etanol cayó drásticamente en 2020, hasta niveles no vistos desde 2013. Según el informe de la Asociación de Combustibles Renovables, la producción anual

se redujo en un 20%, pasando de 16.1 mil millones de galones en 2019 a aproximadamente 13 mil millones de galones en 2020 (RFA, 2025). El mercado global del etanol está dominado por Estados Unidos y Brasil, que juntos representan aproximadamente el 83 % de la producción, mientras que China representa solo el 3 % en peso (Zhang et al., 2024). Estados Unidos es el mayor productor, consumidor y exportador de etanol y, en 2022, representó el 54,4% de la producción global. Su producción se basa principalmente en el maíz y está impulsada por políticas gubernamentales, como el Renewable Fuel Standard (RFS). Según el RFS, las refinerías de petróleo tienen la obligación de incorporar un porcentaje de biocombustibles en cada galón de gasolina y diésel vendidos. Este tipo de políticas promueve la competencia y beneficia al mercado de mayoreo de combustibles (Burkhardt, 2019). En 2024, la RFS promovió el uso de etanol en Estados Unidos a 16.1 mil millones de galones, lo que igualó el récord establecido en 2018 (RFA, 2025). Este crecimiento fue impulsado por una fuerte demanda tanto en el mercado interno como en las exportaciones, que también alcanzaron un récord de 1.9 mil millones de galones. Los principales destinos de exportación fueron Canadá, el Reino Unido, India y la Unión Europea, que en conjunto representaron el 65% del volumen exportado. Las exportaciones a Canadá crecieron un 38% tras la implementación de su regulación de combustibles limpios en 2022, mientras que las exportaciones a la India se cuadruplicaron debido a la creciente demanda de aplicaciones industriales. Por otro lado, las exportaciones a Brasil y China se mantuvieron bajas debido a barreras comerciales, como los aranceles elevados. La capacidad instalada de producción en Estados Unidos es de 18.3 mil millones de galones anuales, repartida entre 198 plantas de biorrefinería. Iowa lidera con una capacidad instalada de 4.9 mil millones de galones, seguida de Nebraska e Illinois. Más del 92% de la producción estadounidense utiliza el maíz como materia prima principal, ya que las biorrefinerías están diseñadas principalmente como plantas de molienda

seca. Estados Unidos utiliza alrededor de 342 millones de toneladas de biomasa, incluidos el grano de maíz para etanol y la madera y sus residuos para calefacción y energía, para satisfacer aproximadamente el 5% de la demanda energética anual del país. (DOE, 2011).

Figura 9 Producción de biocombustibles (1990-2023)



*Nota:*En la figura 9 se muestra cómo se ha comportado la producción de biocombustibles en los países de Brasil, México, Estados Unidos y China. Fuente: Elaboración propia con datos de IEA (2024) World energy balances and renewables information

En Brasil, el etanol se produce principalmente a partir de caña de azúcar y el país es el segundo mayor productor mundial, con un 26.2% de la producción global. El mercado principal del etanol brasileño sigue siendo el mercado interno; no se espera un fuerte crecimiento de la demanda mundial de etanol y la tendencia mundial es intensificar las inversiones en vehículos eléctricos. En 2024, las exportaciones brasileñas de etanol se dirigieron principalmente a Corea del Sur, Países Bajos y Estados Unidos, aunque las a Europa han disminuido debido a la competencia del etanol estadounidense, que se ha fortalecido tras la invasión de Ucrania por parte de Rusia (Vidal, 2024). En 2021, China consumió 140 millones de toneladas de gasolina, lo que generó una demanda de etanol combustible de aproximadamente 14 millones de toneladas con una proporción de mezcla del 10 %. Dada la limitada capacidad de producción de las tecnologías existentes de síntesis de

etanol, China enfrenta desafíos evidentes en el desarrollo de rutas alternativas para producir etanol, a fin de garantizar la seguridad energética y, al mismo tiempo, alcanzar su objetivo de cero emisiones netas. En términos de tendencias, el mercado global del etanol enfrenta desafíos derivados del aumento de los vehículos eléctricos, lo que podría reducir la demanda de biocombustibles a largo plazo.

II.3.2 Combustible E10, E15 y E85

La nomenclatura "E" indica el contenido de etanol y el número, el porcentaje de gasolina en la mezcla. Por ejemplo, el E10 contiene un 10% de etanol y un 90% de gasolina, mientras que el E85 tiene una proporción del 85% de etanol, lo que lo convierte en un combustible más ecológico, ya que reduce significativamente las emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. El E10 es la mezcla de etanol más utilizada a nivel mundial. En países como Estados Unidos, la mayoría de la gasolina contiene hasta un 10% de etanol, ya que esta proporción es compatible con casi todos los vehículos de gasolina modernos sin necesidad de modificaciones en el motor. En Brasil, aunque el país utiliza principalmente mezclas de alto contenido de etanol, como el E27 (27% de etanol), también está disponible el E10. En Europa, el E10 se ha adoptado como estándar en muchos países, como Alemania y Francia, para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones de la Unión Europea. El E15, que contiene un 15% de etanol, es una mezcla más reciente y menos extendida que el E10. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) aprobó su uso en vehículos fabricados a partir de 2001, lo que representa más del 90% de los automóviles en circulación. Sin embargo, su adopción ha enfrentado desafíos debido a restricciones regulatorias y preocupaciones sobre su impacto en motores más antiguos. E85 es un tipo de combustible que consiste en una mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina. Los vehículos que pueden utilizar

E85 se conocen como vehículos de combustible flexible (FFV). Estos automóviles están diseñados específicamente para funcionar con gasolina, mezclas de gasolina y etanol, y pueden adaptarse a diferentes proporciones de etanol en el combustible. Es importante destacar que no todos los vehículos son compatibles con E85; aquellos que no están diseñados para ello pueden sufrir daños en el motor debido a la corrosividad del etanol y a la alteración del consumo de combustible. Por lo tanto, es crucial que los propietarios de vehículos verifiquen si su vehículo es FFV antes de utilizar E85. Los FFV están diseñados para detectar automáticamente el tipo de combustible en uso y ajustar la mezcla de aire y combustible en consecuencia. Esto significa que un FFV puede funcionar sin problemas con E10, E15 o E85, lo que brinda flexibilidad al conductor en cuanto a disponibilidad y costo del combustible. Sin embargo, es importante que los propietarios de vehículos verifiquen la compatibilidad de sus vehículos con estas mezclas, ya que no todos pueden utilizar E85 de manera segura.

Figura 10 Rastrojo de maíz antes de ser procesado



Nota: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

II.4 Rastrojo de maíz

El rastrojo de maíz, o soca de maíz, como también se le conoce, es la mezcla de los subproductos que quedan tras la cosecha de maíz, cuyos componentes son los tallos, hojas, cáscaras, olote y espiga (Ruan et al., 2019). La mayor parte está formada por celulosa (44 a 46%) y hemicelulosa (3 a 14%), que aportan alrededor del 35% de la energía (Li et al.,2012). El otro gran compuesto es la lignina, que oscila entre el 3% y el 13 %. La lignina no se convierte en azúcares fermentables, como la celulosa y la hemicelulosa, pero sí desempeña un papel importante como subproducto. Durante el pretratamiento, la lignina se separa del material celulósico, y su extracción resulta crucial para facilitar la hidrólisis enzimática de los polisacáridos. Aunque no se utiliza directamente en la producción de etanol, la lignina tiene un valor agregado significativo, ya que puede aprovecharse como fuente de energía para alimentar la planta de biorrefinería o transformarse en productos químicos de alto valor, como adhesivos, polímeros y materiales compuestos, lo que mejora la viabilidad económica del proceso. La soca de maíz generada por los agricultores, por lo general, más de la mitad de esta biomasa no se aprovecha; los productores la consideran no utilizable y, en ocasiones, como un gasto de operación (Valdez, 2022). En México se genera una gran cantidad de rastrojo de maíz como subproducto de la cosecha de grano. Sin embargo, la mayor parte de este rastrojo no se aprovecha adecuadamente. Por un lado, solo una pequeña proporción (15-25%) se utiliza como alimento animal (Becerra et al., 2021); por otro, dicha proporción varía según el productor. En algunas regiones del estado de Sinaloa, el residuo se deja sobre el terreno y se incorpora mediante el arado, debido a su valor económico mínimo; en otras, se quema para “limpiar” la parcela (Mendoza et al., 1993). La cantidad de rastrojo que queda en la superficie tras la cosecha varía de región en región por diversos factores. La velocidad del ciclo de descomposición e incorporación del rastrojo al suelo depende de la humedad, la

temperatura y/o las actividades biológicas, mientras que el uso de este producto para el consumo de rumiantes depende de la intensidad, la duración y la existencia de otras fuentes de forraje en la región. (Velázquez et al., 2002).

Figura 11 Vacas y de fondo pacas de rastrojo de maíz *con las que se alimentan*



Nota: Foto tomada por Axel Angulo

II.4.1 Usos del rastrojo

En Sinaloa algunos productores de maíz de la región incorporan el rastrojo de maíz al suelo como abono para incrementar la materia orgánica; esto significa que el rastrojo se descompone en el suelo y libera nutrientes para la siembra de los próximos cultivos. La

descomposición del rastrojo también contribuye a mejorar la estructura del suelo y a aumentar su capacidad de retener agua. (Galindo et al., 2022) Galindo y otros investigadores examinaron el impacto de la gestión del rastrojo de maíz y de la sustitución de fertilizantes en la disponibilidad de nutrientes del suelo y en la actividad enzimática. El estudio se llevó a cabo en Minnesota y se evaluaron diferentes tasas de nitrógeno y fósforo, así como dos estrategias de manejo de residuos: la extracción y la incorporación al suelo. Los resultados indicaron que la gestión del rastrojo afecta de manera significativa el contenido de nitrógeno mineral del suelo y la actividad enzimática. Los suelos donde se incorporó mostraron niveles más altos de amonio y actividad enzimática en comparación con aquellos donde se retiró, que presentaron niveles más altos de nitrato.

Figura 12 pacas estribadas para su uso



Nota: Foto tomada por Axel Angulo

En tiempos de sequía el rastrojo se convierte en unos de los productos más utilizados en la alimentación de rumiantes, una de las ventajas ante otros alimentos es el bajo costo por kilo. Por

otro lado, algunos agricultores suelen deshacerse del rastrojo restante mediante prácticas poco sustentables, como la incineración o el arrojarlo a canales de agua, lo que genera contaminación.

Figura 13 terreno después *de la incineracíon del rastrojo de maíz*



Nota: Foto tomada por Axel Angulo

El cambio climático es uno de los grandes retos que enfrenta la sociedad del siglo XXI. Cada vez más, el planeta envía señales de enormes transformaciones, como las pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas, la reducción de las emisiones de GEI en todo el sector energético requiere grandes transiciones, como una reducción sustancial del uso general de combustibles fósiles, el despliegue de fuentes de energía de bajas emisiones, el cambio a portadores energéticos alternativos y la

eficiencia y la conservación energéticas (Lamb y Grassi, 2022). Después de cosechar el maíz, el rastrojo queda como residuo; algunos productores lo queman para reducir el costo de la labranza, lo que contribuye a la contaminación del aire y a la degradación del suelo. Otros de los fines incluyen la producción de bioenergéticos, como el etanol celulósico, y su uso como materia prima industrial. Los residuos agrícolas y la biomasa forestal son recursos renovables ampliamente disponibles que actualmente no se aprovechan debidamente. Es de suma importancia, como sociedad, desarrollar procesos tecnológicos que permitan convertir estas materias en productos comercializables y, de esta manera, obtener provecho. El mayor reto del etanol celulósico no se encuentra en la parte científica del proceso, sino en la densidad económica de la materia prima. El éxito de la biomasa en la producción de etanol depende de demostrar que el rastrojo de maíz no es un desecho, sino un activo financiero capaz de diversificar los ingresos del sector agropecuario sin competir con los alimentos de consumo humano.

Figura 14 Rastrojo de maíz vs maíz

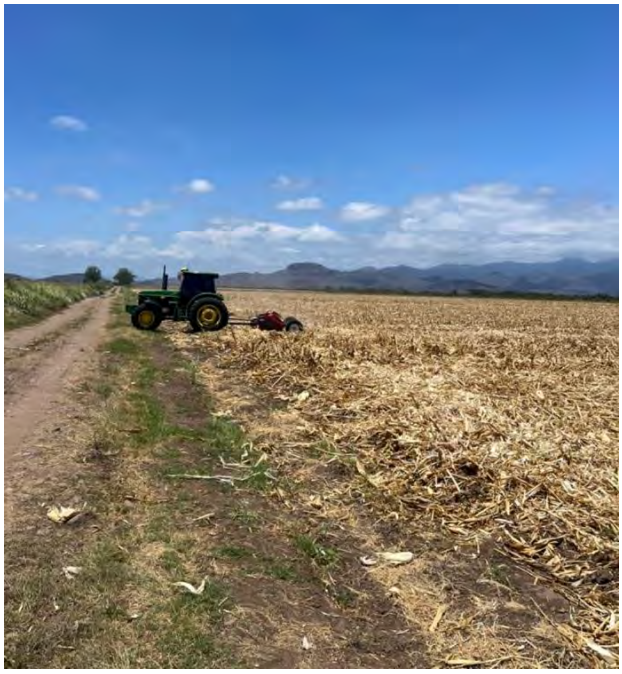


Nota: A lado izquierdo de la imagen se mira el rastrojo de maíz antes de ser procesado y al lado derecho maíz por cosechar Fuente: Foto tomada por Axel Angulo

II.4.2 Proceso para empacar el rastrojo de maíz

Para producir pacas de rastrojo de maíz, el proceso se divide en tres etapas principales, desvarado, hilado y empaquetado. En el desvarado, se cortan y trituran los tallos, hojas y mazorcas de la planta de maíz que quedan en el campo tras la cosecha del grano. Este paso se realizó con una desmenuzadora, que normalmente en el estado de Sinaloa está acoplada a un tractor, el objetivo es reducir el tamaño del rastrojo para facilitar su manejo. El hilado consiste en agrupar el rastrojo cortado en hileras largas y uniformes para facilitar su recolección. Para ello, se utiliza un rastrillo que organiza el material en líneas paralelas. En el empaquetado, el rastrojo se comprime en pacas de tamaño uniforme mediante una empacadora. La empacadora recoge el rastrojo de las hileras, lo compacta y lo amarra con hilo o alambre, asegurando que cada paca pese aproximadamente 20 kg. Este peso es ideal para facilitar el transporte y el almacenamiento del rastrojo; la paca presenta una estructura rectangular, resultado de la compresión por la maquinaria.

Figura 15 tractor con desmenuzadora trabajando



Nota: Fuente: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

II.4.3 Herramientas y maquinaria

En el desmenuzado, se utiliza una desmenuzadora Famaq D305 para triturar el rastrojo de maíz y convertirlo en trozos más pequeños. El rastrojo queda en pie o en hilos gruesos. La desmenuzadora también funciona con residuos de cosecha de sorgo, brócoli, coliflor y espárragos, y puede usarse para limpiar maleza y conservar pastizales. La D305 tiene un ancho de trabajo de 3.00 metros y requiere una toma de fuerza de 540 RPM y una potencia de tractor de 85HP. La máquina cuenta con 72 cuchillas reversibles y una transmisión con capacidad para 160 HP. Una vez desmenuzado el material, queda esparcido por todo el terreno. Para realizar el hilerado, se utilizó una cosechadora agrícola de forraje de 10 aros, también acoplada al tractor, que organiza el rastrojo cortado en hileras uniformes. Ideal para realizar labores de acordonado y manejar de manera eficiente cultivos como pata de maíz, sorgo, trigo, así como alfalfa y frijol. Este equipo utiliza un sistema de barras o ruedas giratorias que agrupan el material en líneas paralelas, lo que facilita su recolección posterior. El rastrillo hidráulico permite ajustar la velocidad y la presión para adaptarse a diferentes condiciones del terreno y a distintos volúmenes de rastrojo. Para finalizar y convertirlo en pacas, se utilizó una empacadora mecánica que recoge el rastrojo de las hileras, lo compacta y lo ata en pacas uniformes. Se utilizó la máquina New Holland Hayliner 275. Esta máquina recoge el rastrojo de la hilera, lo introduce en una cámara de presión, lo compacta y lo amarra. Esta maquinaria también está diseñada para trabajar con diversos cultivos, incluidos la alfalfa y el maíz; además, permite formar pacas uniformes y densas, lo que facilita su manejo y almacenamiento. Esta empacadora cuenta con una transmisión confiable y una construcción robusta, lo que la hace adecuada para condiciones de trabajo exigentes, como el empacado de rastrojo de maíz. El uso de un tractor es necesario con estos equipos para realizar de manera eficiente el desmenuzado, el hilerado y el empaquetado del rastrojo de maíz. El John Deere 6110E

es una opción destacada para estas operaciones agrícolas, su robustez y durabilidad son características apreciadas por los agricultores, ya que puede manejar implementos pesados y realizar trabajos exigentes en el campo tiene una potencia de 106 hp, lo cual es suficiente para realizar las actividades necesarias para producir pacas. Este tractor es más compacto y eficiente para trabajos en terrenos pequeños o medianos; la cabina con aire acondicionado proporciona comodidad al operador durante largas jornadas de trabajo. La producción de pacas de rastrojo de maíz requiere maquinaria especializada para procesar la biomasa de manera eficiente.

Figura 16 cosechadora agrícola de forraje de 10 aros



Nota: Fuente: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

II.5 Logística

Muchas de las incertidumbres y desajustes del mercado actual se deben a incapacidades logísticas. Si bien algunas de nuestras deficiencias actuales se deben a nuestra incapacidad para aplicar adecuadamente lo que ya sabemos, existen muchas áreas en las que estamos limitados por nuestro conocimiento imperfecto del arte y la ciencia de la logística. El término logística tiene sus

orígenes en el ámbito militar; la innovación siempre ha sido importante para ganar guerras geopolíticas. Uno de los primeros en contribuir a su definición fue Antoine Henri Jomini en 1838; en su libro El arte de la guerra, la define como el arte práctico de mover ejércitos (Jomini 2012). Para Jomini, la logística es fundamental para el éxito militar, pues se basa en las necesidades de movimiento y de mantenimiento del personal, así como en la planificación y el suministro de recursos. Hoy en día, la logística no solo sigue siendo esencial para la toma de decisiones militares, sino que también se ha convertido en una herramienta clave en la gestión empresarial. La logística es una herramienta que ayuda a optimizar los costes de suministro de materiales y de transporte de productos a los consumidores finales. Kukovič y otros investigadores definieron la logística como un término que abarca diversas actividades, como la planificación, la producción, las compras, el transporte, el almacenamiento, la carga y descarga, la manipulación, el embalaje, el procesamiento, la distribución, el control, el procesamiento de la información y la trazabilidad. Estas actividades son necesarias para alcanzar el objetivo fundamental de la logística. La logística también debe procurar ser rentable y respetuosa con el medio ambiente.

2.5.1 Logística en la agricultura

La agricultura es un tema muy importante. Para alimentar a una población en aumento, es importante seguir expandiendo el área de cultivo para satisfacer la demanda. Ante esto, el ser humano, desde hace tiempo, ha abusado de todos los recursos de la naturaleza y siempre ha buscado la manera de ver ganancias donde aparentemente no las hay, y, de la misma manera, se olvida de verlas donde sí las hay. Los recursos son finitos; sin embargo, las posibilidades de generar ingresos son infinitas. Existe una variedad de alternativas que podemos utilizar como sociedad para producir mayores niveles de alimentos y, a la vez, armonizarlos con el medio ambiente. El uso de la logística ha aumentado los niveles de ingresos en muchos sectores,

especialmente en la industria y el comercio. El sector agrícola se ha visto afectado por la globalización y las cadenas de suministro internacionales. Estas tendencias han llevado a este tipo de empresas a buscar reducir los costes de producción y mejorar la logística para optimizar los procesos. La logística en la agricultura se concibe como una herramienta que promueve la división del trabajo considerando ciclos temporales y geográficos; además, busca configurar, organizar, controlar o regular diferentes redes y flujos agrícolas con el fin de facilitar el logro equilibrado de objetivos económicos, ecológicos y sociales. En 2013, Rokicki, de la Universidad de Varsovia, Polonia, realizó una investigación para determinar la importancia de la logística en las empresas del sector agroindustrial (Rokicki, 2013). El autor analizó las soluciones aplicadas en este sector, así como los planes futuros en materia logística. Uno de los resultados de la investigación fue que las empresas utilizaban un formato escrito para la contabilidad de existencias, mientras que el formato electrónico estaba lejos de ser utilizado. Aunque la tecnología está al alcance de todos en el sector agrícola, no necesariamente están a la vanguardia en ese ámbito. Una buena logística es sinónimo de estar a la vanguardia, Kramar et al. exploraron la importancia de la logística en el sector agrícola. En la investigación se revisaron diversas definiciones de logística agrícola, resaltando que esta incluye una serie de actividades, como la producción, el transporte, el almacenamiento y la distribución, todas orientadas a satisfacer la demanda del consumidor (Kramar et al., 2015). A pesar de su importancia, se observó que la investigación sobre logística en la agricultura es limitada, lo que dificulta establecer una definición unificada. El artículo concluye que la logística en la agricultura debe entenderse como una disciplina que analiza y organiza los flujos de bienes, información y personas en las redes agrícolas, con el fin de optimizar costos y alcanzar objetivos económicos, ecológicos y sociales. La necesidad de adaptarse a los cambios del mercado es fundamental para el desarrollo continuo de la agricultura, aunque no es

fácil, existe una necesidad de innovación constante. En la República Checa, Andrej Dupal y otros investigadores realizaron un estudio en el que encuestaron a empresas agrícolas sobre el fomento del uso de tecnologías: 71,6% de las empresas agrícolas están de acuerdo con el fomento del uso de tecnologías, 16,46% tienen una opinión neutral y 11,94% están totalmente en desacuerdo (Dupal et al., 2019). Por otro lado, Brian Fugate y otros investigadores examinaron la naturaleza del desempeño logístico y su contribución a la empresa (Fugate et al., 2010). Los resultados indicaron que un buen desempeño en la logística impacta positivamente en el desempeño organizacional. Mientras que Aleksy Kwilinski y algunos de sus colaboradores analizaron el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la organización de las actividades logísticas en las empresas agrícolas, el propósito de la investigación fue desarrollar fundamentos teóricos y recomendaciones prácticas para mejorar la eficiencia de la gestión de dichas actividades en las entidades empresariales de un área agroindustrial (Kwilinski et al., 2022). Sin embargo, una de las principales dificultades del sector agrícola radica en el transporte de los productos cosechados. En la mayoría de los casos, la vida de anaquel se convierte en un factor a tener en cuenta al mover estos productos; mantener la humedad y la temperatura se vuelve una prioridad durante su transporte. Por eso, la logística en los negocios es muy importante: no solo puede considerarse una herramienta de gestión de procesos, sino que también se convierte en un factor determinante entre la rentabilidad y la pérdida de un negocio.

II.5.2 Estudios de logística de rastrojo de maíz para etanol

En cuanto a las investigaciones de la logística para etanol proveniente del rastrojo de maíz, David Glassner y sus compañeros presentaron un análisis detallado del proyecto de un contratista de cosecha que lanzó una operación de recolección de rastrojo de maíz, con sede en Harlan Iowa, Medio Oeste de Estados Unidos (Glassner et al., 1998). En el proyecto que tenía como finalidad

generar valor agregado, se recolectaron más de 50,000 toneladas en la campaña agrícola 1997-1998; los agricultores recibieron entre $21.50 y $94.27 dólares por hectárea, dependiendo de la cantidad de residuo extraída y la distancia del centro de recolección. 5 años después, en el mismo estado de Iowa, construyeron un modelo de ciclo de vida. El estudio se centró en la producción y el uso de una mezcla de combustible compuesta por 85 % de etanol y 15 % de gasolina conocida como E85 (Sheehan et al., 2003). Los autores del artículo observaron que, por cada kilómetro recorrido con etanol E85, el vehículo consume un 95 % menos de gasolina que al recorrerlo con gasolina, lo que se traduce en menores emisiones de CO2. El modelo consideró la dinámica del carbono del suelo, la erosión del suelo, los costos de recolección y transporte del rastrojo, y la bioconversión del rastrojo en etanol. En otro estudio realizado en ese mismo estado, investigadores analizaron las percepciones de los agricultores sobre la cosecha y la venta del rastrojo de maíz como materia prima para biocombustibles (Tyndall et al., 2011). A través de una encuesta representativa, se encontró que solo el 17% de los agricultores expresó interés en cosechar rastrojo, mientras que el 37% se mostró indeciso. Los agricultores más interesados tienden a ser jóvenes, a planear continuar en la agricultura y a manejar grandes extensiones de tierra, especialmente en la región norte central de Iowa, donde se concentran los cultivos de maíz. Una de las razones por las que los encuestados no estaban de acuerdo con la cosecha del rastrojo es la preocupación de los agricultores por las consecuencias ambientales de la eliminación total del rastrojo del campo, que pueden provocar la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes. Por su parte, en el estado de Minnesota, algunos investigadores realizaron un estudio para abordar la gestión logística como uno de los principales obstáculos para utilizar el rastrojo de maíz como materia prima para la producción de etanol (Suh et al., 2011). Los investigadores presentaron un modelo para comparar los costos y las emisiones de CO2 de tres opciones de transporte del rastrojo: camión, tren y

tubería. Los resultados indicaron que el transporte por tubería es la opción más económica, mientras que el transporte por tren genera las menores emisiones de CO2. Además, se determinó que la capacidad óptima de las plantas de biocombustibles es de aproximadamente 450 millones de litros al año, con cinco biorrefinerías como el número ideal en Minnesota. En el año 2006, algunos investigadores presentaron un modelo de simulación de eventos para analizar la logística del rastrojo de maíz desde el almacenamiento hasta una planta de etanol en el estado de Indiana, en el Medio Oriente de Estados Unidos; se utilizaron los costos de logística y transporte y se concluyó que abordar aspectos logísticos es fundamental para la implementación exitosa de biorrefinerías que utilicen rastrojo de maíz como fuente de energía (Mukunda et al., 2006). Otro estudio, realizado en 2014, estimó los costos de recolección y logística del rastrojo de maíz. Después, estos costos se utilizaron para simular las ganancias de los productores a distintos precios del rastrojo de maíz (Thompson et al., 2014). En este estudio, el rastrojo de maíz se recolectó mediante rastrillado, se empacó y se almacenó en grandes pacas redondas. En el estudio se incluyeron los costos de combustible, mano de obra, propiedad y reparación de equipos, protección de las pacas de rastrojo y reposición de nutrientes. Los costos de logística incluidos fueron los de almacenamiento, carga y descarga y transporte. Los costos de cosecha oscilaron entre 82.19 y 100.56 dólares por tonelada seca, según factores como el clima y las técnicas agrícolas. Hess, Wright y Kenney realizaron un análisis de los sistemas de suministro de materia prima para el etanol, enfatizando la necesidad de optimizar la recolección, el transporte y el procesamiento de los residuos agrícolas para mejorar la competitividad económica del etanol celulósico (Hess et al.,2007). El análisis arrojó un costo de materia prima entregada a la garganta del reactor de pretratamiento de $37 (2002) dólares por tonelada seca. Daniel Ryan Petrolia, realizó un estudio en Minnesota en el que analizó los costos asociados a la cosecha y al transporte del rastrojo de

maíz para su conversión en etanol (Petrolia, 2008). El autor utilizó un modelo de simulación de Monte Carlo para estimar los costos, obteniendo resultados que oscilaron entre $60 y $72 USD por tonelada, según el método de cosecha. Por su parte, el autor concluyó que los costos de recolección y transporte no aumentan drásticamente con mayores volúmenes de etanol producido, pero pueden fluctuar significativamente debido a variaciones en parámetros clave como la humedad del rastrojo y la eficiencia de recolección. El estudio también resaltó la importancia de desarrollar tecnologías más eficientes para la recolección y la conversión del rastrojo, lo que podría reducir costos y aumentar la viabilidad económica del etanol derivado de la biomasa. En el año 2017 se analizó cómo el tamaño de una biorrefinería afecta los costos logísticos necesarios para el suministro de rastrojo de maíz a una planta de etanol (Wang et al.,2017). Se consideraron tres escenarios de biorrefinería: 175, 520 y 860 toneladas diarias producidas. Los costos promedio de la biomasa entregada se estimaron en $82.09, $87.49 y $93.75 USD por tonelada seca. También se destacó la importancia de los recursos logísticos para la viabilidad económica de la biorrefinería. David Cook y Kevin Shinners presentaron un análisis de ocho sistemas logísticos distintos para la recolección y el transporte del rastrojo de maíz, con el objetivo de identificar el sistema más económico para su uso en la producción de biocombustibles (Cook & Shinners, 2011). Se concluyó que los sistemas de recolección a granel, en los que el rastrojo se cosecha y almacena de manera eficiente, presentan costos de materia prima significativamente más bajos: $84 USD por tonelada seca. El estudio resaltó que la eficiencia en la cosecha y el transporte es un factor crucial y propuso un enfoque innovador para cosechar el grano y el rastrojo simultáneamente, lo que podría reducir aún más los costos de producción de etanol a partir de biomasa. Los autores Trivedi, Malina y Barrett examinaron los costos y beneficios de utilizar el rastrojo de maíz como materia prima para la producción de combustibles líquidos y de electricidad (Trivedi et al., 2015). Mediante un análisis

de costo-beneficio, evaluaron diferentes métodos, incluyendo la generación de electricidad y calor, la producción de etanol y de combustibles derivados del proceso de Fischer-Tropsch. Los hallazgos indicaron que el uso de rastrojo de maíz puede reducir las emisiones de GEI entre un 21% y un 92% en comparación con combustibles convencionales, siendo la producción de electricidad a partir de rastrojo la más beneficiosa en términos de reducción de emisiones. En cuanto a la infraestructura y las herramientas, Ebadian, Sokhansanj y Webb evaluaron la maquinaria, el equipo y la logística necesarios para movilizar el rastrojo de maíz en los Estados Unidos, con el fin de desarrollar una bioeconomía sostenible basada en la producción de etanol celulósico (Ebadian et al., 2017). Se estimó que se pueden producir anualmente 6.8 mil millones de galones de etanol a partir de 108 millones de toneladas secas de rastrojo, lo que requiere una infraestructura significativa, incluyendo 194,110 unidades de equipo de campo y 40,780 camiones para el transporte. Además, se identificaron 1,903 sitios de almacenamiento necesarios para manejar 53.1 millones de toneladas de rastrojo después de la cosecha. En el caso de Latinoamérica, en 2016 Ascurra realizó un trabajo para analizar la factibilidad económica de obtener etanol a partir del rastrojo de maíz en Argentina, aplicando el criterio de conformar complejos productivos o joint ventures (Ascurra, 2016). La metodología utilizada para el análisis se basó en la simulación de Monte Carlo, debido a la escasa información publicada en ese país hasta esa fecha. Las conclusiones a las que se llegó, fueron económicas pero muy primitivas, sin entrar en el análisis de los procesos productivos y sin considerar inversión. En el caso de México, Becerra y otros investigadores analizaron los desafíos logísticos de la recolección del rastrojo de maíz para la producción de etanol (Becerra et al., 2022). Los autores propusieron una cadena logística para el suministro de rastrojo a una planta de etanol. Como resultado, se estimaron tres precios mínimos de venta (MSP) para el rastrojo, $28.49 dólares por tonelada entregada en la puerta de la planta,

$31.15 dólares por tonelada almacenada previa a la entrega y $48.14 dólares por tonelada que incluye almacenamiento, entrega y reposición de nutrientes. También resalta que solo el 20% de los agricultores vende sus residuos y que un 65% estaría interesado en venderlos. La viabilidad del bioetanol (2G) no solo depende del aprovechamiento de la materia prima, sino de la cadena de suministro y de su logística. Este tipo de estudios ayudan a determinar si el acopio local y la producción de pacas, compensan los costos de traslado hacia plantas de procesamiento.

Tabla 2 Estudios de logística de rastrojo de maíz para etanol

Estudio	Autor(es)	Resultado
Corn stover collection project. In Bioenergy	Glassner et al., 1998)	$21.50 y $94.27 dólares por hectárea
Corn stover for bioenergy production: Cost estimates and farmer supply response.	Thompson et al., 2014	Los costos de cosecha oscilaron entre 82.19 y 100.56 dólares por tonelada seca
Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production. Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy	Hess et al.,2007	costo de materia prima entregada a la garganta del reactor de pretratamiento de $37 (2002) dólares por tonelada seca
The economics of harvesting and transporting corn stover for conversion to fuel ethanol: A case study for Minnesota.	Petrolia 2008	$60 y $72 dólares por tonelada, dependiendo del método de cosecha
Impact of the biorefinery size on the logistics of corn stover supply–A scenario analysis.	Wang et al.,2017	$82.09, $87.49 y $93.75 dólares por tonelada seca
Economics of alternative corn stover logistics systems.	Cook & Shinners, 2011	$84 dólares por tonelada seca
Diseño, costos y suministro de la cadena de rastrojo de maíz para etanol celulósico en México	Becerra et al.,2021	$28.49 dólares por tonelada entregada en la puerta de la planta, $31.15 dólares por tonelada almacenando previo a la entrega y $48.14 dólares por tonelada

Nota: La tabla muestra algunos de los precios por tonelada seca en dólares publicados en la literatura. Fuente: elaboración propia con datos de los estudios mencionados

II.5.3 Producción de etanol a partir de rastrojo de maíz

Los insumos para la producción de bioetanol se dividen en tres categorías principales, azúcares, cultivos ricos en almidón y biomasa lignocelulósica. Aunque es más sencillo producir etanol a partir de fuentes comestibles como azúcares y almidones, los costos de la materia prima y las preocupaciones ambientales constituyen barreras significativas para su sostenibilidad. Por otro lado, la biomasa lignocelulósica, que incluye residuos agrícolas y forestales, ha ganado atención debido a su disponibilidad, bajo costo y su naturaleza no competitiva con la cadena alimentaria (Zabed et al.,2016). El proceso de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar implica la extracción del jugo de caña de azúcar, que contiene sacarosa altamente concentrada, y la posterior fermentación (Deshavath et al.,2019). A diferencia de los materiales no almidonados, en los que la fracción de holocelulosa de la biomasa no puede gelatinizarse mediante procesos de cocción ni se hidroliza fácilmente por enzimas. Esto se debe a que la rigidez estructural inducida por la lignina provoca recalcitrancia a la hidrólisis de la holocelulosa (Kumar et al., 2009). Por lo tanto, se debe emplear un proceso de pretratamiento para hidrolizar la mayor parte de la fracción hemicelulósica y alterar la compleja red de lignina, lo que también mejora la accesibilidad de la celulosa durante la hidrólisis enzimática (Papa et al.,2015). Después del pretratamiento, mediante hidrólisis se emplean enzimas o ácidos para descomponer las cadenas complejas de azúcares de la celulosa y de las hemicelulosas en azúcares simples, en preparación para la fermentación (Lu et al., 2007). Este paso también se denomina sacarificación. La hidrólisis dará como resultado glucosa (azúcar C6) y xilosa (azúcar C5). Existen dos tipos de hidrólisis: la enzimática y la ácida. La primera es más rápida, produce mejores rendimientos y requiere menos aporte químico, pero tiene un mayor costo de producción. La eficiencia de la hidrólisis depende en gran medida de la eficacia del pretratamiento. Si el tratamiento previo deja una gran cantidad de lignina, el

rendimiento de azúcares simples en la hidrólisis puede disminuir. La presencia de lignina impide que las enzimas se hidrolicen. Es posible modificar algunas características de la lignina para que sea más compatible con el proceso de hidrólisis (Cuervo et al., 2009). Después de que el pretratamiento y la hidrólisis hayan liberado azúcares simples, la fermentación se utiliza para convertir la mayor cantidad posible de estos en etanol. Los azúcares C6 pueden fermentarse con cepas de levadura tradicionales. Los C5 no se fermentan tan fácilmente. Este proceso puede durar entre 24 y 48 horas. Luego, se lleva a cabo un proceso de destilación y purificación en el que el etanol producido se separa del resto de los subproductos, obteniéndose etanol de alta pureza. Estos procesos pueden darse por separado o, en algunos casos, integrarse para mejorar la eficiencia y, de esa manera, reducir costos. La sacarificación simultánea y fermentación (SSF) es una de las estrategias más utilizadas; combina dos etapas clave del proceso en un solo paso: la sacarificación y la fermentación ocurren simultáneamente en el mismo reactor. Otra estrategia es la fermentación en estado sólido (SSF integrado). Este método combina el pretratamiento, la sacarificación y la fermentación en un solo paso, utilizando materiales con alta carga sólida. Es eficiente en términos de tiempo y reduce la formación de inhibidores. También existen diferentes pretratamientos como el alcalino (CaO), ácido, explosión de vapor, o con líquidos iónicos, estos son fundamentales para aumentar la conversión de la biomasa en azúcares fermentables (Bohn et al., 2021). En ese sentido, Amisha Patel y Amita Shah concluyeron, a partir de un estudio, que la utilización eficiente de los componentes de la biomasa —celulosa, hemicelulosa y lignina— es muy importante al evaluar la viabilidad económica de una biorrefinería.

Figura 17 John Deere con empacadora New Holland Hayliner 275



Nota: Fuente: Foto tomada por Axel Angulo en el campo de investigación

II.6 Almacenamiento de rastrojo de maíz

El almacenamiento del rastrojo de maíz es una de las tareas importantes en la producción de etanol, debido a su alto contenido de agua en la materia orgánica. Este determinante acelera la descomposición mediante reacciones químicas de degradación. El principal enemigo de este proceso es la humedad; la materia orgánica debe mantenerse con una humedad inferior al 15%. En Sinaloa el tiempo de cosecha de maíz coincide con periodos de baja humedad, por lo que es posible el almacenaje de pacas. Se requieren estructuras de estiba seguras para evitar colapsos y optimizar el flujo de aire. Además, el almacenamiento debe realizarse preferentemente en bodegas techadas o, en su defecto, estar tapadas con lonas de polietileno. La región se caracteriza por utilizar plasticosc color negro para disminuir los rayos ultravioleta, prevenir el moho y disminuir la descomposición aeróbica. El gasto para almacenar se considera inversión operativa necesaria para los productores de la región debido al valor de las pacas que sube cuando se escasea el alimento (forraje) para los rumiantes.

Figura 18 ilustración de almacenamiento de pacas de 20 kg para comercializar



Nota: Fuente: Foto tomada por Axel Angulo

Figura 19 Almacenamiento de pacas de rastrojo para alimento de rumiantes



Nota: Fuente: Foto tomada por Axel Angulo

Capítulo III
DISEÑO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE CASO

La metodología del estudio de caso tiene sus raíces en las ciencias sociales y económicas y constituye una herramienta cualitativa clave para analizar fenómenos complejos en contextos específicos. Se define como un recurso metodológico de la investigación científica y se aplica tanto al ejercicio sistemático de descripción como a la explicación y comprensión de un fenómeno social que implica una organización, un rol, un conglomerado o un grupo de personas (Collazos, 2009). Surge como respuesta a la necesidad de comprender en profundidad situaciones particulares, más allá de las generalizaciones estadísticas. Este enfoque permite explorar y describir fenómenos sociales, económicos o culturales en su entorno real, utilizando múltiples fuentes de datos como entrevistas, observaciones y documentos. En economía y ciencias sociales, los estudios de caso han sido fundamentales para desarrollar teorías, probar hipótesis y generar conocimiento aplicado, especialmente en áreas como la educación, la política pública y la gestión empresarial. Su carácter inductivo y descriptivo la convierte en una metodología ideal para descubrir patrones, relaciones y dinámicas que no serían evidentes en estudios más amplios o cuantitativos. El estudio de caso puede definirse, según su construcción, como un tipo de investigación que busca examinar un fenómeno de diseño singular a partir de múltiples evidencias. Según Yin (2018), un estudio de caso es un método de investigación empírica que examina un fenómeno contemporáneo en un contexto real, especialmente cuando la frontera del conocimiento no está claramente definida. Desde la perspectiva del diseño y del propósito del estudio, existen varios tipos de estudio de caso que podrían desarrollarse. Para Yin (2003), existen al menos 5 tipos de estudio, entre los que destacan el de caso único y el de caso múltiple, el de caso exploratorio, el de caso descriptivo y el de caso explicativo. Un estudio de caso único se centra en una organización en particular, mientras que el estudio de caso múltiple se centra en una serie de casos

de varias organizaciones. Un estudio de caso exploratorio puede proponer determinar la factibilidad de un procedimiento o bien definir una estructura para casos ulteriores que pueden o no ser estudiados. Un estudio de caso descriptivo tiene como objetivo presentar las características del comportamiento de un fenómeno que se investiga, y sirve para presentar un diagnóstico que luego puede utilizarse para efectuar pronósticos acerca del futuro de las operaciones e importantes decisiones a nivel general.

III.1.1 Diseño de la Investigación

Este caso de estudio puede considerarse descriptivo y cuantitativo. Además, es de carácter no experimental; se limita a observar y analizar. Es de corte transversal, puesto que se recolectan datos de un solo momento (2025). En 2024 se utilizó para recabar la información necesaria para la realización de la investigación; en 2025 se realizó la recolección de datos de campo y su análisis. El estudio se enfoca en el análisis de los costos asociados a la producción de rastrojo de maíz y a la logística necesaria para transportar las pacas desde el campo hasta el lugar de almacenamiento o de procesamiento. Se utilizó un Costeo Basado en Actividades *(ABC/M, por las siglas del inglés Activity-Based Costing/Management)*; este enfoque permite evaluar la viabilidad económica y operativa de estas actividades en un área de 10 hectáreas de maíz sembrado bajo el sistema hídrico de riego en el ciclo otoño-invierno 2024-2025 en la zona centro del estado de Sinaloa.

III.1.2 Justificación de la selección del predio

Se utilizaron costos reales para ser asertivos, ya que encuestar a veces diluye los datos. El hecho de ir al campo de investigación para recabar los datos permite ser preciso al determinar los costos reales y no estimaciones teóricas. Además, el acceso directo al predio permite controlar variables como el tipo de maquinaria y el personal con años de experiencia en la producción de pacas. La producción de pacas de rastrojo de maíz en 10 hectáreas de la zona central de Sinaloa

suele ser tan tecnificada como la de predios de 50 o 100 hectáreas. Los productores de la región, además, suelen contar con suelos fértiles, un buen clima y acceso a riegos, lo que eleva la productividad del maíz hasta 15 toneladas de grano por hectárea. En cuanto a las condiciones de almacenamiento, esta zona presenta baja humedad y altas temperaturas, lo que ayuda a proteger la materia prima en los centros de acopio.

III.1.3 Limitaciones y alcance del estudio

Es necesario delimitar los resultados obtenidos a las condiciones operativas de la zona central de Sinaloa durante el ciclo evaluado (de abril a junio de 2025). Los costos calculados estuvieron sujetos a los precios de mercado en el tiempo evaluado, una fluctuación drástica en el precio de los combustibles alteraría los resultados financieros obtenidos. Al medir los costos en un predio de 10 hectáreas, se capturaron costos reales en el campo de investigación; sin embargo, en una hipotética planta de etanol se negociarían fletes y costos de almacenamiento a gran escala.

Alcance

El alcance del estudio se centra exclusivamente en el análisis de los costos de producción del rastrojo de maíz y de la logística necesaria para su transporte en pacas desde el campo hasta el lugar de almacenamiento.

Aspectos que se excluyen en el estudio

Producción de etanol: El estudio no incluye el análisis del proceso de conversión del rastrojo en etanol ni los costos asociados.

Rendimiento del rastrojo: No se evaluó la cantidad de rastrojo generado por hectárea, ya que se asume que existe abundante información al respecto en la literatura.

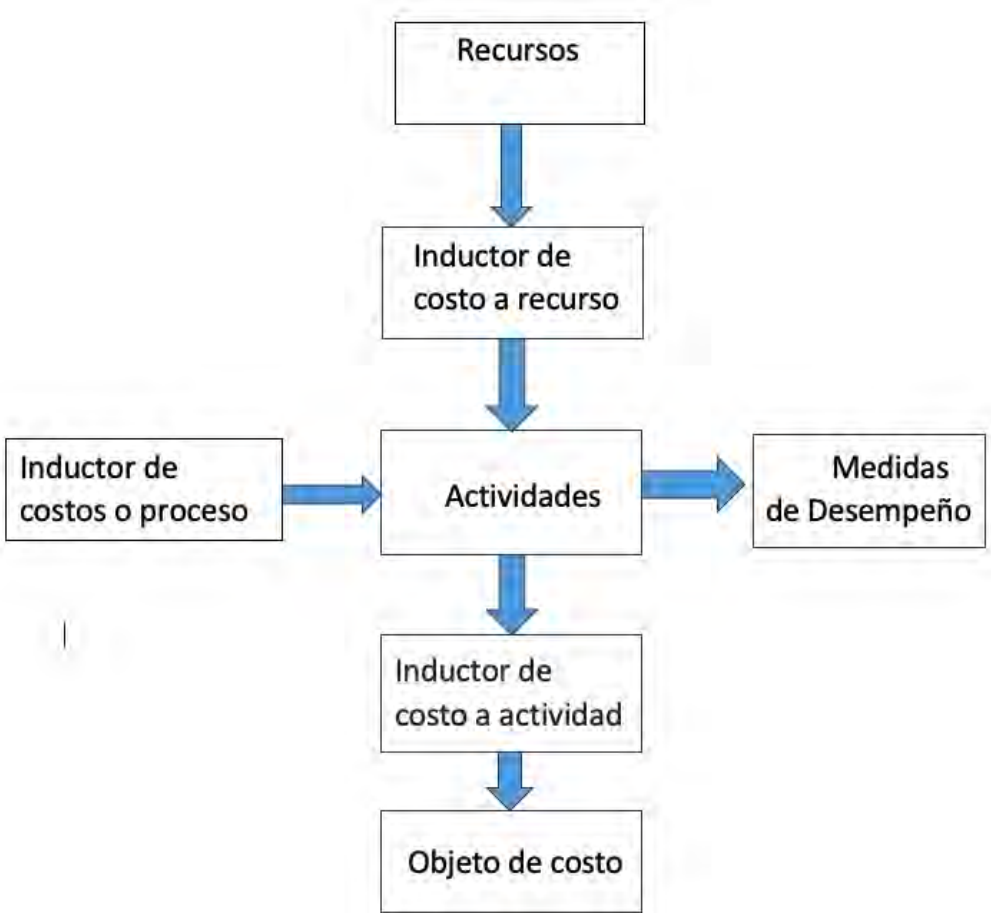
Impactos ambientales: No se analizaron los impactos ambientales del uso del rastrojo ni de las actividades logísticas.

Viabilidad técnica del rastrojo para la producción de etanol: No se evaluó la composición química del rastrojo ni su potencial técnico para producir etanol.

Costo de reposición de nutrientes: la investigación se limita a cuantificar los costos operativos y logísticos directos de la extracción de rastrojo de maíz del campo; no se incorpora el costo explícito de la pérdida de nitrógeno, fósforo y potasio, que disminuye la fertilidad del suelo.

Restricción temporal en el almacenamiento y el control de la humedad: los resultados reflejan únicamente condiciones de guardado inmediato postcosecha y niveles de humedad óptimos. La investigación no cubre los costos financieros ni los riesgos de almacenamiento a largo plazo.

Figura 20 *Visualización del seguimiento de la metodología ABC/M*



Nota: Fuente: Elaboración propia utilizando (Pember & Lemon, 2012) Measuring and Managing Environmental Sustainability: Using Activity-Based Costing/Management (ABC/M)

III.2 Costeo Basado en Actividades

El costeo basado en actividades *(ABC/M, por sus siglas en inglés de Activity-Based Costing/Management)* es un modelo desarrollado por Robin Cooper y Robert Kaplan, que surge como una herramienta eficiente de gestión de costos que permite analizar de manera detallada y precisa los costos asociados a la cosecha, recolección, almacenamiento y transporte posterior del rastrojo de maíz. Este modelo es aplicable a todo tipo de empresas productoras, especialmente pequeñas y medianas, al ofrecer un enfoque sistemático para la gestión de costos logísticos (Gonzales& Marin, 2022). El beneficio que aporta la metodología de ABC/M, radica en la identificación de las variables importantes para definir el plan estratégico, clasificación y evaluación de sus costos en el ámbito de actividades, recursos, subprocesos, procesos y macroprocesos (Benítez, 2009). Según el Consorcio para la Gestión Avanzada Internacional (*CAM-I, por sus siglas en inglés Consortium for Advanced Management-International*) , el ABC/M es una metodología que mide el coste y el rendimiento de actividades, recursos y objetos de coste. CAM-I es una organización dedicada a desarrollar estándares y metodologías para la gestión de costos en empresas manufactureras, empresas de servicios, organizaciones gubernamentales y estatales, consultoras, entidades académicas y profesionales que han elegido trabajar de manera colaborativa en un entorno competitivo para resolver problemas de gestión y cuestiones comerciales críticas comunes al grupo. Lleva más de 5 décadas de investigación colaborativa, liderada por sus miembros, en gestión de costos, costeo basado en actividades, costeo objetivo, gestión basada en procesos y gestión de la cadena de suministro. CAM-I desarrolló la cruz CAM-I para implementar el costeo basado en actividades. La Cruz CAM-I se utiliza ampliamente en organizaciones de los sectores público y privado para comprender los costos y sus determinantes, y optimizar la relación costo-rendimiento. En general, la metodología ABC/M vincula los costos de los recursos con las actividades intermedias antes de llegar a los productos o

servicios finales (White, 1997). Esta estructura de reasignación por segmentos de consumo permite que el cálculo de costos sea mucho más preciso que con los métodos tradicionales de conteo Figura

Tabla 3 Conceptos de la cruz CAM-I y su definición

Concepto	***Definicion***
Actividades	*El proceso real del trabajo, donde los recursos se consumen*
Recursos	*Dinero gastado para producir(salario, combustible, depreciacion y mantenimiento de maquinaria)*
Inductor de costo a recurso	*Criterio para pasar el gasto a una actividad.*
Inductor de costo a actividad	*La medida de cuantas veces se realiza la actividad*
Objeto de costo	*es el bien o servicio final creado como resultado de la realización de una actividad o de una cadena de actividades.*
Inductor de costo de proceso	*Son las causas raiz que producen un costo*
Medidas de desempenho	*Indicadores de eficiencia(KPI'S)*

Nota: Elaboración propia

III.2.1 Cruz CAM-I

En la Figura 9 se representa la lógica central del modelo ABC/M; está dividida en dos ejes que se cruzan para formar una cruz. Esta estructura permite evaluar con mayor precisión el costo real de producción al reducir la arbitrariedad de los sistemas de conteo tradicionales. La cruz se basa en el principio de que no son los productos o servicios que una organización produce los que generan costos, sino las actividades que se realizan para producirlos. Los productos consumen actividades y las actividades consumen recursos. En el eje vertical se representa la asignación de costos en una cadena de consumo que abarca desde los recursos hasta los objetos de costo; este eje

responde la pregunta: ¿Cuánto cuesta? Los recursos son el dinero destinado a los insumos necesarios para realizar las actividades requeridas en un proceso productivo. Los recursos de la empresa se cuantifican mediante la asignación de costo a recursos, el calor se acumula en las actividades operativas como las horas trabajadas o la cantidad de insumos utilizados. Las actividades se definen como el conjunto de tareas o acciones que consumen recursos para alcanzar un objetivo en una empresa. Para conocer estas actividades se realizan entrevistas a gerentes o representantes. En la entrevista se formulan preguntas con el propósito de conocer las actividades. Luego, es necesario conocer la recurrencia de las actividades; estas se conocen como impulsores de actividad. Mediante los impulsores de actividades se determina cómo asignar los costos de las actividades al objeto de costo correspondiente. Al final se obtiene un objeto de costo, que puede ser un producto, un servicio, un cliente o un proyecto.

III.3 Identificación y definición de variables de la cruz CAM-I

Después de conocer el proceso productivo de fabricación de pacas de rastrojo de maíz, es necesario recopilar los costos asociados a cada actividad del proceso. En este caso de estudio, se simplificaron las actividades a 4: desmenuzado, hilerado, empacado y transporte. Las actividades se muestran en la ilustración anterior: desmenuzado (corte del rastrojo de maíz), hilado (juntar el rastrojo de maíz), empacar (amarrar el rastrojo en pacas de aproximadamente 20 kg), cargar las pacas al remolque o al medio de transporte y descargar las pacas en la zona de almacenamiento. Después, es importante identificar qué factores influyen en los costos y cómo inciden en el costo total del proceso. Para llevar a cabo el proceso se requieren recursos, es decir, los insumos necesarios. Los recursos utilizados en la investigación incluyen maquinaria agrícola, combustible, mano de obra y el costo de mantenimiento de los equipos. Una vez identificados estos recursos, se les asignó un costo o un impulsor de recursos para conocer su consumo. En este estudio, se

simplificaron a las horas trabajadas y al combustible utilizado. Estos factores ayudaron a asignar los costos de los recursos a las diferentes actividades, lo que permitió una asignación más precisa de costos. El siguiente paso consistió en identificar los impulsores de las actividades; en este estudio, se trata de la cantidad de hectáreas trabajadas, ya que esta variable afecta directamente el consumo de combustible, el desgaste de la maquinaria y la mano de obra necesaria para actividades como el desmenuzado, el hilerado y el empacado. Después, los impulsores de recurso en esta investigación fueron el combustible por hectárea, las horas trabajadas, el mantenimiento y la depreciación. Luego, los costos de las actividades se asignan a los objetos de costo, que, en esta investigación, son las pacas de rastrojo producidas.

Tabla 4 conceptos de la cruz CAM-I utilizados en el estudio de caso

Concepto	**Estudio de caso**
Actividades	desmenuzado, hilerado, empacado y trasporte
Recursos	Combustible , sueldo operador ,insumos, mantenimiento y depreciacion
Impulsor de recurso	Horas trabajadas
Impulsor de actividad	Numero de pacas
Objeto de costo	Costo de pacas de rastojo de maiz de 20 kg

Nota: Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la investigación

III.3.1 Desmenuzado

El desmenuzado o desvarado es muy importante en la fabricación de pacas, esta actividad consiste en la trituración de los restos de la cosecha de maíz, como tallos y hojas, utilizando

cuchillas. Al realizar esta actividad, se facilita la manipulación de la materia orgánica, lo que permite ejecutar las etapas del hilerado y del empacado con mayor facilidad.

Figura 21 Desmenuzado en el campo de investigación



Nota: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

III.3.2 Hilerado

La actividad consiste en acomodar el rastrojo previamente desmenuzado en bandas longitudinales uniformes. Esta actividad se realiza mediante rastrillos de soles que barren la

materia orgánica dispersa para alinearla de forma continua. Una buena hilerada permite que el siguiente proceso, el empacado, se realice con mayor eficiencia.

Figura 22 Empacado en el campo de investigación



Nota: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

III.3.3 Empacado

El empacado es la actividad que consiste en recolectar y comprimir el rastrojo en pacas de 20 kg. Es importante que no haya humedad y que no supere el 15% al comenzar a empacar rastrojo de maíz, ya que, de lo contrario, existe riesgo de activar el proceso de fermentación microbiana. De la misma manera, es importante calibrar la empacadora para que las pacas pesen 20 kg. Mediante un brazo medidor se ajusta la longitud de la paca. Las pacas de 20 kg ayudan a optimizar

la logística (transporte), en contraste con las de 35, 50, 380 y 500 kg. Después de esta actividad, se puede calcular el costo de la paca tirada.

Figura 23 ilustración del campo de investigación después de empacar las pacas



Nota: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

III.4 Depreciación de maquinaria

La depreciación contable en México se rige por diversas normativas y estándares, entre ellos las Normas Internacionales de Contabilidad (NIC) y las Normas de Información Financiera (NIF) emitidas por el Consejo Mexicano de Normas de Información Financiera (CINIF). La NIC 16 establece el tratamiento contable de las propiedades, plantas y equipos, indicando que cada parte de un elemento debe depreciarse por separado si su costo es significativo en relación con el costo total del elemento. En este caso, se utilizó el método de depreciación lineal para la

maquinaria empleada en la investigación. Este método se distingue por distribuir el costo del activo de manera uniforme a lo largo de su vida útil. Para calcular la depreciación lineal, primero se determina el costo inicial de la maquinaria y el año de compra. El siguiente paso consiste en estimar el valor residual, que es el valor que tendrá la maquinaria agrícola al final de su vida útil, y se calcula considerando el costo inicial, la vida útil, el desgaste, la obsolescencia y los precios de mercado de maquinaria con características similares. También es importante identificar la vida útil.

Para calcular la depreciación lineal se utiliza la siguiente fórmula:

Depreciación anual = (Costo inicial−Valor residual) / Vida útil

Nota: Para este estudio se utilizó el 20% del costo inicial como valor residual. Fuente: (Cebrero Villa, 2024)

III.4.1 Mantenimiento

El costo de mantenimiento se centra principalmente en el uso del tractor John Deere 6610. El servicio básico del motor se realiza convencionalmente cada 250 horas de trabajo, mientras que el servicio de transmisión e hidráulico se realiza cada 1500 horas de trabajo. Sumando ambos costos, se obtiene el costo real de mantenimiento preventivo por hora de marcha del tractor.

Para calcular el costo de mantenimiento básico de motor se divide el costo total del servicio entre las horas de uso estipuladas:

Costo por hora mantenimiento (motor) = (costo del servicio/250 horas)

Nota: el resultado es el costo de mantenimiento básico del motor por hora de trabajo

Para calcular el costo de mantenimiento de transmisión e hidráulico se divide el costo total del servicio entre las horas de uso estipuladas:

Costo por hora mantenimiento (transmisión/hidráulico) = (costo del servicio/1500 horas)

Nota: el resultado es el costo de mantenimiento de transmisión e hidráulico por hora de trabajo

III.5 Costo de paca tirada

Este indicador económico se establece en función del gasto operativo de las fases mecánicas de desmenuzado, hilerado y empacado. Este concepto es vital porque separa los costos de producción de los de transporte, es decir , separa el proceso de transformación del de comercialización. Este costo se obtiene considerando las primeras tres etapas; desmenuzado, hilerado y empacado, mientras que por el lado de la comercialización se toman en cuenta;carga, transporte y descarga.

Para calcular el costo de paca tirada se utilizó la siguiente fórmula:

Costo paca tirada= (Costos fijos + Costos variables) /cantidad de pacas producidas

Nota: Fuente, elaboración propia con datos de la investigación

Capítulo IV
RESULTADOS Y CONCLUSÍON

Se realizaron observaciones en campo durante las etapas de producción y de transporte del rastrojo de maíz. Aplicación de cuestionarios al productor y a los trabajadores para recopilar información sobre costos y tiempos no monitoreados. Registros de costos reales proporcionados por los productores. Además de una revisión de la literatura científica y técnica sobre los costos de producción agrícola y la logística del rastrojo de maíz.

Tabla 5 Costo de depreciación por hora de los recursos utilizados

Recursos	**Costo**
Jonh deere 6110E	
Depreciación por hora	$114.72
New holland hayliner 275-empacadora	
Depreciación por hora	$44.00
Famaq D305-desmenuzadora	
Depreciación por hora	$16.40
Swizzmex-cosechadora	
Depreciación por hora	$88.20

Nota: Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

IV.2 Análisis de la depreciación

En la tabla 5 se muestra el costo de depreciación por hora de 4 herramientas de trabajo utilizadas en las primeras 3 etapas del proceso productivo (desmenuzado, hilado y empacado). Este valor representa la pérdida de valor monetario que sufre la maquinaria por cada hora de desgaste. El tractor John Deere 6110E encabeza la lista con un costo de $114.72 MXN; es la inversión de capital más costosa, ya que además se utiliza en las 3 actividades. El costo de depreciación del desmenuzado acumuló un total de $131.12 por hora, proveniente de $114.72 MXN de la depreciación del tractor y $16.4 MXN de la depreciación del equipo Famaq D305. Si se multiplican

las 6 horas que trabajó la máquina, se obtiene un costo total de depreciación por la actividad de desmenuzado de $786.72 MXN. Para el hilado, también se consideró el uso del tractor, además del equipo empleado para hilar el rastrojo de maíz. El costo total de la depreciación se obtuvo como 114.72 + 88.20 = 202.92 MXN por hora; se multiplicó por las 4 horas trabajadas y se obtuvo un total de $811.68 MXN en costo de depreciación de la actividad de hilado. Por último, el costo de depreciación de la empacadora New Holland Hayliner 275 fue de $44 + $114.72 MXN por hora de depreciación del tractor. El costo se multiplicó por las 9 horas necesarias para empacar 2433 pacas de 20 kg; se obtuvo una depreciación total de 1428.48 MXN por el empacado.

Tabla 6 Costo de mantenimiento de motor

Mantenimiento de Motor	**Unidad de medida**	**Costo**
- Filtro de combustible	Pieza	1,349.00
- Cartucho de filtro	Pieza	674
- Filtro de aceite	Pieza	617
- Aceite de motor (19 Lt)	Litros	2,850.00
- Mano de obra (Motor)	Servicio	400
Subtotal Mantenimiento Motor	*Ciclo: 250 h*	***5,890.00***

Nota: Elaboración propia con datos recabados en el campo de investigación

Tabla 7 Costo de mantenimiento del hidráulico

Mantenimiento Hidráulico / Transmisión	**Unidad de medida**	**Costo**
- Aceite hidráulico (53 Lt)	Litros	7,950.00
- Mano de obra (Hidráulico)	Servicio	250
Subtotal Mantenimiento Hidráulico	*Ciclo: 1,500 h*	***8,200.00***

Nota: Elaboración propia con datos recabados en el campo de investigación

IV.2.1 Análisis del mantenimiento

Para el mantenimiento preventivo del motor del John Deere 6610 se usaron un filtro de combustible, un cartucho de filtro, un filtro de aceite y 19 litros de aceite para motor de la marca John Deere. El costo total fue de 5,890 MXN, más 400 MXN de mano de obra. Este monto se divide entre las 250 horas recomendadas por el fabricante del tractor, se obtiene un costo de $23.56 MXN por hora de motor en marcha. Por su parte, el mantenimiento del sistema hidráulico y de transmisión contempla la sustitución de 53 litros de aceite hidráulico, con un costo de mano de obra del servicio de $250 MXN. Se determinó un costo de $5.47 MXN por hora de operación del tractor. El gasto total combinado por hora de mantenimiento es de $29.03 MXN. La viabilidad financiera del etanol (2G) depende de los costos logísticos de la materia prima; estos costos se traducen directamente en el costo por tonelada seca.

Tabla 8 Costo de mantenimiento por hora

costo de Mantenimiento	**Costo por Hora**
Preventivo Motor (Cada 250 hrs)	23.56
Preventivo Hidráulico/Transmisión (Cada 1,500 hrs)	5.46666667
Costo Total de Mantenimiento por Hora	29.02666667

Nota: Elaboración propia con datos recabados en el campo de investigación

IV.2.2 Análisis del consumo de combustible

El análisis del consumo de combustible no solo es importante para determinar la viabilidad económica del proceso de empacado y transporte de rastrojo de maíz, sino también para medir la huella de carbono generada en este proceso. A partir de los resultados de la investigación, se determinó un total de 124 litros de diésel; el desmenuzado se considera la actividad con mayor demanda energética. El empacado representó el segundo mayor gasto energético y el hilerado

resultó ser el más eficiente en consumo de combustible. Es importante señalar que el desmenuzado y el empaque concentraron el 88% del gasto energético. Para el productor de pacas sinaloense, la rentabilidad no solo depende de contar con las mejores máquinas, sino también de considerar el costo del diésel en el mercado.

Tabla 9 Consumo de diésel por actividad

PRODUCTO	**CANTIDAD**
Diesel para desmenuzado	59 LTS
Diesel para juntar la pastura	15 LTS
Diesel para empacar	50 LTS
Hilo para empacar	3.7 PZ
Cantidad de pacas producidas(20 kg)	2433

Nota: Elaboración propia con datos recolectados en la investigación

Tabla 10 desglose de costo de depreciación, mantenimiento, combustible y mano de obra del desmenuzado para la producción de pacas de rastrojo de maíz (10 hectáreas)

Desmenuzado	**Cantidad**	**Costos**
Costo de combustible por litro	59 ltr	$1503
Mano de Obra por día	6 horas	$650
Mantenimiento por hora	Aceite,filtros,grasa etc	$29.02666667
Depreciación por hora		$16.40+$114.72

Nota: Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

IV.3 Análisis desmenuzado

Los costos para la actividad de desmenuzado, revelaron que el costo con mayor valor fue el de combustible utilizado, más del 50 % del total del gasto de esa actividad, un total de $1503 MXN por 59 litros que se necesitaron. Un costo que a menudo no se considera por los productores de pacas es el de la depreciación; en este caso, para la actividad de desmenuzado, fue de $131.12

MXN por hora. Los costos de mantenimiento estimados por la investigación fueron de 174.16 MXN, que provienen del costo de mantenimiento por hora de $29.03 MXN multiplicado por el número de horas de trabajo. Este resultado se debe al desgaste por las horas trabajadas. Para este trabajo el costo de mano de obra fue de $650 MXN. Para terminar el trabajo en las 10 hectáreas se necesitaron 6 horas de mano de obra para el desmenuzado.

Tabla 11 desglose de costo de depreciación, mantenimiento, combustible y mano de obra del hilerado para la producción de pacas de rastrojo de maíz (10 hectáreas)

Hilerado	**Cantidad**	**Costos**
Combustible por litro	15ltr	$382.35
Mano de Obra por día	4 horas	$450
Mantenimiento por hora	Aceite,filtros,grasa etc	$29.02666667
Depreciación por hora		$88.20+$114.72

Nota: Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

IV.3.1 Análisis hilerado

En general, los costos de la actividad de hilado fueron menores que los de las demás actividades. El consumo de combustible se redujo a 15 litros de diésel, lo que indica que el hilerado requirió menos potencia del tractor. El costo del diésel por litro se mantuvo en $25.49 MXN y el total fue de $382.35 MXN. El costo del operador fue de $450 MXN por 4 horas trabajadas y el de mantenimiento fue de $116.11 MXN. El desgaste de la maquinaria por hora fue de $202.92 MXN, proveniente de la suma de la depreciación del tractor, de $114.72 MXN, y la de la máquina para hilar de 10 aros, de $88.20 MXN.

Tabla 12 desglose de costo de depreciación, mantenimiento, combustible y mano de obra del empacado de 2433 pacas de rastrojo de maíz (10 hectáreas)

Empacado	**Cantidad**	**Costos**
Combustible por litro	50ltr	$ 1274
Mano de Obra por dia	9 horas	$1,000
Mantenimiento por hora	Aceite,filtros,grasa etc	$29.02666667
Depreciación por hora		$44+$114.72
Recursos	hilo para paca	$3,515

Nota: Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

IV.3.2 Análisis empacado

La parte de empaque representó la fase de mayor costo, a diferencia del desmenuzado y del hilerado, en los que solo surgieron costos de combustible, depreciación y mantenimiento. En este rubro se requirió hilo para el empaque. El costo de este insumo fue de $3,515 MXN. Se utilizaron 50 litros de diésel por un costo de $1,274 MXN. Mientras que en el operador se gastó $1,000 MXN en 9 horas de trabajo. El gasto de mantenimiento de la maquinaria fue de $261.24 MXN y el desgaste por hora fue de $158.72 MXN.

IV.4 paca tirada

Se determinó un valor de $5.90 MXN por paca tirada. Este resultado es importante para medir la rentabilidad de la producción de pacas de rastrojo, ya que este indicador nos permite evaluar la eficiencia del proceso productivo. También puede considerarse un punto de equilibrio operativo, ya que si el precio de mercado es inferior al costo de producción, no resulta viable continuar con el proceso logístico de comercialización.

Figura 24 Ilustración de paca despues de empacar



Nota: Fuente: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

Figura 25 Paca tirada



Nota: Fuente: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

Tabla 13 Costos considerados en la paca tirada

Concepto de costos	**Costos**
Costo de mantenimiento y depreciacion	$3,578.39
Costo de combustible utilizado	$3,159.35
Costo de mano de Obra	$2,100.00
Materiales	$3,515.00
Costo de rastrojo no empacado	$1,000.00
sueldo del administrador	$1,000.00

Nota: Elaboración propia con datos recolectados en la investigación

IV.4.1 Análisis costos de paca tirada

El costo total para determinar el costo de la paca tirada fue de $14,138.73 MXN. Ese coste, dividido entre el número de pacas (2433) realizadas en la investigación, nos da el resultado por paca tirada. Los costos se muestran en la TABLA. Entre los costos se encuentran el mantenimiento y la depreciación, el combustible utilizado, la mano de obra, los materiales, el rastrojo no empacado y el sueldo del administrador. El resultado demuestra que la operación depende del desgaste de los equipos de trabajo y de su mantenimiento, este gasto representó 46.14% del total. El pago del derecho al agricultor por retirar el residuo de la parcela fue de $1000 MXN, lo mismo que el sueldo de administrador. Se necesitaron 3.7 rollos de hilo para las 2433 pacas; cada rollo costó $950 MXN, lo que sumó un total de $3515 MXN. El costo de los operadores fue de $2100, dividido en 3 días de operador: $650 MXN por el desmenuzado, $450 MXN por el hilerado, y $1000 MXN por el empacado.

IV.5 Análisis transporte

Los costos de transporte constituyen el rubro más costoso en las actividades logísticas del rastrojo de maíz. A diferencia de la parte mecánica del proceso operativo, en este rubro se requieren personas para la carga y descarga de pacas. De esta actividad se encargó una empresa local dedicada al transporte de pacas de rastrojo. En el trabajo se emplearon cinco personas: cuatro encargadas de las maniobras físicas de carga y descarga y un operador responsable de la unidad de transporte. Esta organización permite optimizar los tiempos y asegurar la estiba para el acarreo, además de ayudar a agilizar la descarga en el punto de destino.En la movilización de 2433 pacas, se generó un costo de $14,598 MXN por la maniobra física de carga y descarga. Cada etapa cuesta $3 MXN por paca. Este gasto es significativo debido a las cinco personas que realizan el trabajo manualmente. El costo de flete hasta una distancia de 100 km es de $2 MXN por paca, el costo acumulado para la actividad de transporte fue de $19,464 MXN.

Figura 26 Proceso de cargar,descargar para transporte de pacas 20 kg



Nota: Foto tomada en el campo de investigación por Axel Angulo

Tabla 14 Costos de servicio de transporte de la región del valle de Culiacán (empresa local)

Transporte	**Cantidad**	**Costo**
3 MXN (subir)	2433	$7,299.00
3MXN (descargar)	2433	$7,299.00
2 MXN (Trasnporte, hasta 100 km de distancia)	2433	$4866.00

Nota: Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

IV.6 Costos por actividad

El resultado de los costos por actividad revela que el gasto de transporte es el más determinante para la rentabilidad del productor. El transporte de la biomasa generó un costo de $19,464 MXN, el 57.56% del total, superior al costo acumulado de la transformación física del rastrojo de maíz en el campo. Las primeras 3 actividades (desmenuzado, hilerado y empacado) sumaron un costo de $12,352.74 MXN. El éxito de la producción de rastrojo no reside únicamente en la eficiencia del empacado, sino también en una gestión logística que minimice los costos marginales de movimiento. Al analizar los resultados, es evidente que las actividades postcosecha en campo y el transporte a la zona de almacenamiento son importantes para evaluar la viabilidad de un proyecto de etanol celulósico. Los resultados de costos por actividad: para la actividad de desmenuzado, el costo fue de $3,113.88 MXN, reflejando los gastos relacionados con la operación de la maquinaria, la mano de obra y el mantenimiento y la depreciación de la maquinaria. Por su parte, el hilerado generó un costo de $1,760.14 MXN. Este proceso consistió en agrupar el rastrojo ya desmenuzado en hileras para su posterior recolección. El costo menor respecto al desmenuzado se explica principalmente por un menor consumo de diésel, aunque sigue requiriendo mano de obra, operación de maquinaria y costo de mantenimiento y depreciación de la máquina. La actividad de empacado generó un costo de $7,478.72 MXN, lo que la convierte en una de las etapas más costosas del proceso. Este monto incluye el costo de uso de maquinaria

especializada para formar las pacas, los insumos adicionales, como hilo para atar, los costos de mano de obra y los de mantenimiento y depreciación de la máquina. El transporte del rastrojo hasta el lugar de almacenamiento reporta el costo más alto, con $19,464 MXN, Este resultado evidencia que la logística y la movilización del producto terminado representan una proporción importante del costo total del proceso. Para la carga y descarga, se consideraron $3 MXN por subir la paca y $3 MXN por bajarla en el lugar de almacenamiento. Para el transporte al sitio, se consideró $2 MXN por paca; este precio corresponde al costo del servicio que cobran los paqueros, para distancias no mayores a 100 km. Por lo general, factores como la distancia al centro de acopio y el tipo de infraestructura vial pueden incrementar considerablemente este componente; sin embargo, en este caso se consideró un precio fijo de $2 MXN.

Tabla 15 Costos por actividad del estudio de caso

Actividad	**Costo (MXN)**	**Participación (%)**
Desmenuzado	$3,113.88	9.21%
Hilerado	$1,760.14	5.21%
Empacado	$7,478.72	22.11%
Transportarlo	$19,464.00	57.56%
Otros costos	$2,000.00	5.91%
Total	**$33,816.74**	**100.00%**

Nota: En la tabla se muestran los resultados de los costos por actividad, considerando los costos de depreciación, mantenimiento, mano de obra, combustible y materiales utilizados. Fuente: elaboración propia

IV.6.1 Análisis del costo por actividad

Al comparar los resultados de costos por actividad de la producción y logística de rastrojo de maíz, se destaca el costo de transporte como el de mayor peso. A diferencia de otras regiones

agrícolas, el estado de Sinaloa se distingue por contar con una infraestructura diseñada para el transporte de granos y hortalizas con destino a la exportación. Puesto que el transporte se cotiza por viaje o a distancias fijas, la baja densidad del rastrojo reprime el costo del transporte por tonelada seca. Este dominio del costo de transporte determina que la viabilidad financiera de una planta de etanol celulósico no se decidirá por la eficiencia de la planta sino por el abastecimiento y el acarreo del rastrojo de maíz proveniente de las parcelas.

IV.7 Discusión de resultados

El costo por paca en un lugar ya almacenado fue de $13.90 MXN. Este costo representa el gasto total necesario para producir una sola paca de rastrojo de maíz, considerando todas las actividades involucradas, desde el desmenuzado hasta el transporte. Este valor es útil para productores y comercializadores que venden el producto en unidades individuales, ya que permite calcular el precio mínimo de venta para cubrir los costos y estimar la rentabilidad por unidad. El costo por tonelada ascendió a $694.96 MXN; este valor incluye todos los costos asociados al desmenuzado, hilerado, empacado y transporte de una tonelada de rastrojo de maíz a una zona de almacenamiento, lo que facilita la comparación con otros insumos o fuentes de biomasa. El costo por tonelada en dólares es de $36.58 USD, calculado con un tipo de cambio de 19 pesos por dólar. Esta conversión es importante para los análisis internacionales, dado que varias investigaciones utilizan el dólar como moneda. A partir del costo determinado de $694.96 MXN por tonelada seca, se deduce que el rastrojo de maíz presenta una alta competitividad económica como materia prima, pues representa apenas una fracción del valor comercial del grano. No obstante, esta cifra revela un valor específico bajo por unidad de peso del material 'tirado en campo'; el margen de rentabilidad es altamente sensible a la densidad de compactación y a la distancia de traslado. Por lo tanto, se concluye que el éxito financiero de la operación no reside únicamente en la eficiencia

de la producción primaria, sino también en la capacidad de la cadena de suministro para evitar que los costos de carga y flete superen el umbral base. Asimismo, este monto establece el valor de referencia para evaluar el costo de oportunidad asociado a la incorporación de biomasa al suelo, lo que permite determinar la viabilidad real de su extracción industrial sin comprometer la sostenibilidad económica del productor. Los resultados obtenidos en esta investigación revelan que el costo actual de producción de pacas de maíz de aproximadamente 20 kg para generar etanol en la zona central del estado de Sinaloa se posiciona como una de las alternativas más competitivas, en términos estrictamente mecánicos, para la transformación de la biomasa. Estos costos se presentan sin incluir la reposición de nutrientes extraídos del suelo.

IV.7.1 Factores productivos del entorno regional de Sinaloa

La viabilidad financiera de una planta de bioetanol de segunda generación depende principalmente del transporte de la materia prima. El rastrojo de maíz se caracteriza por su baja densidad y su dispersión geográfica. El costo marginal del flete aumenta con la distancia, mientras que el valor independiente de la distancia permanece constante. Además, la carga, la descarga y el transporte posterior requieren maquinaria especializada, como desmenuzadoras, hiladoras y empacadoras. La amortización de estos activos está sujeta a su tasa de utilidad. Por ende, se requiere una planeación rigurosa para garantizar la máxima utilidad de los activos fijos y cubrir sus gastos. Aunado a esto, las condiciones de Sinaloa para la logística del rastrojo de maíz son favorables debido a los altos niveles de rendimiento en la producción de maíz. El estado ofrece una gran cantidad de biomasa disponible en la temporada de cosecha del grano. Esta alta concentración puede generar economías de escala, que reducen el costo medio por tonelada a medida que aumenta la cantidad de biomasa. La región del valle de Sinaloa también se caracteriza por sus predios extensos, lo que reduce el costo marginal de la logística. La maquinaria

normalmente se desplaza por caminos rurales, lo que eleva los costos; el éxito de Sinaloa en la logística de pacas de rastrojo puede estar en la geografía de sus extensiones territoriales.

Tabla 16 Costos de producción de 2433 pacas de 20 kg

Costo por paca llevada a almacenamiento MXN	13.90
Costo por paca tirada MXN	5.90
Costo por tonelada MXN	694.96
Costo por tonelada en Dolares	36.578947
Tipo de cambio	19 MXN por 1 USD

Nota: Fuente: Elaboración propia con los resultados recolectados de la investigación

IV.8 Conclusion

Al comparar este resultado con los costos del estudio de 2007 para el Noroeste de EUA, en Idaho, de $37 USD por tonelada de rastrojo, se puede deducir que el valor nominal es muy cercano al obtenido. Este valor comprueba la eficiencia en los costos de mano de obra y de la operación logística local en Sinaloa bajo las condiciones actuales del mercado. Por otro lado, las investigaciones realizadas en el cinturón maicero de EUA y en zonas adyacentes mostraron costos más altos. El estudio de 2008 en Minnesota obtuvo un rango de $60 a $70 USD, mientras que en Kentucky el costo ascendió a $84 USD, ambos resultados muy superiores a los obtenidos en esta investigación y, al igual que esta, excluyen la reposición de nutrientes. Esta diferencia puede explicarse por el hecho de que las economías de escala de EUA operan con maquinaria de alta capacidad y rendimiento, pero enfrentan costos sustancialmente elevados de combustibles, seguros, mantenimiento especializado y salarios operativos por hora, en comparación con la

estructura de costos de los prestadores de servicios de maquila agrícola en el noroeste de México. Un factor metodológico que divide los estudios analizados es el costo económico y ecológico de extraer el rastrojo de maíz del campo. El nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), conocidos como macronutrientes NPK, se desequilibran al retirar el rastrojo. El estudio de Iowa obtuvo un resultado de $82.19 a $100.56 USD, considerando la compensación de nutrientes extraídos; aun así, el precio obtenido en la presente investigación es el 44.5 % del precio de EUA. Al contrastar el precio regional de Sinaloa obtenido en la investigación de 2021, en la que se obtuvieron costos de $31.15 USD sin considerar la reposición de nutrientes y de $48.18 USD considerando la reparación ecológica. La diferencia de $11.56 USD entre el precio de la literatura y los gastos de reparación, hallada en el presente estudio, es un indicador cuantitativo de la diferencia entre reponer los nutrientes y no hacerlo. Se concluye que el costo operativo de producción de una tonelada de rastrojo de maíz en la zona central de Sinaloa, de $36.58 USD, demuestra la viabilidad financiera inicial bajo un modelo de logística convencional para una planta potencial de conversión de biomasa lignocelulósica a etanol anhidro como combustible.

IV.9 Recomendaciones para futuras investigaciones

Se sugiere, para futuras investigaciones, costear el modelo de producción de pacas de 400–500 kg. Las pacas de 20 kg generan un alto costo de transporte debido a la carga y la descarga manuales. Debido a ello, el transporte constituye el mayor obstáculo en la cadena de suministro de rastrojo de maíz en Sinaloa. A pesar de ser líder en la siembra y cosecha de granos, el estado está limitado en maquinaria para la producción de pacas gigantes, y el poco que hay se concentra en algunas compañías que cobran por el servicio de maquila. Por ende, es posible hipotetizar que mecanizar el transporte podría reducir el costo del rastrojo de maíz almacenado. Se recomienda también incluir en futuros estudios la huella de carbono y el impacto ambiental; no tiene sentido

producir biocombustibles si la logística de recolección del rastrojo de maíz contamina más de lo que ahorra. El precio pagado al agricultor por la extracción de rastrojo de maíz debe compensar la degradación del suelo causada por la extracción de nutrientes.

Tabla 17 Comparación de estudios encontrados en la literatura

Periodo / Fuente	**Costo de Producción (tonelada)**	**Region del Estudio**	**Reparacion de Nutrientes**
2007 (Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production)	37 USD (precio 2002)	Noroeste USA Idaho	S/N
2008 (The economics of harvesting and transporting corn stover for conversion to fuel ethanol: A case study for Minnesota)	60-72 USD	Noroeste USA Minnesota	S/N
2011 (ECONOMICS OF ALTERNATIVE CORN STOVER LOGISTICS SYSTEMS)	84 USD	Sureste USA Kentucky	S/N
2014 (Corn stover for bioenergy production: Cost estimates and farmer supply response)	82.19-100.56 USD	Noroeste USA Iowa	C/N
2021 (Diseño, costos y suministro de la cadena de rastrojo de maíz para etanol celulósico en México)	48.14 USD	Noroeste mexico Sinaloa	C/N
Estudio Actual (Sinaloa)	**$36.58 USD**	Noroeste mexico Sinaloa	S/N

Nota: Fuente: Elaboración propia con los resultados recolectados de la investigación

Referencias

A Aui, Y Wang, M Mba-Wright - Renewable and Sustainable Energy …, 2021 - Elsevier. Evaluating the economic feasibility of cellulosic ethanol: A meta-analysis of techno-economic analysis studies. sciencedirect.com

A. Aden, Foust, T., 2009. Technoeconomic analysis of the dilute sulfuric acid and enzymatic hydrolysis process for the conversion of corn stover to ethanol. Cellulose 16 (4), 535–545.

A. Aden, M. Ruth, K. Ibsen, J. Jechura, K. Neeves, J. Sheehan, and B. Wallace, Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover, National Renewable Energy Laboratory , 2002

A. Aden. (2008) Biochemical Production of Ethanol from Corn Stover: 2007 State of Technology Model , Technical Report NREL/TP-510-43205 May 2008

Acosta Ruiz, F. (2005). ¿Sabes realmente qué es un paradigma?. Revista Iberoamericana De Educación, 36(5), 1–10. https://doi.org/10.35362/rie3656495

Aguilar, G. (s/f). el crecimiento De la economia sinaloense Y el papel que Desem Peñaron los em Presar Ios extranjeros, 1840-1910. Disponible en: https://historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/int_extranjeros/intext_004.pdf

Ascurra, A. M. (2016). Analizar la factibilidad económica de la producción de etanol utilizando como materia prima el rastrojo de maíz y sorgo (Doctoral dissertation).

Becerra Pérez, L. A. (2020) Biocombustibles y sustentabilidad: antecedentes y retos tecnológicos del Etanol 2G. Capital social como recurso estratégico para incrementar la competitividad de las Empresas. En Muñoz Hernández, H. (Ed.), Business Intelligence Big data y Contabilidad Tridimensional., Universidad del Sinú, Montería, Colombia. ISBN: 978-958-8553-95-5.

Becerra Pérez, L. A. (2024). La bioenergía: el potencial de los residuos agrícolas y urbanos (cap. 6.4), en Ibarra Armenta, C. (Coord.), Oportunidades para el crecimiento de Sinaloa, Astra ediciones. ISBN: 978-607-8964-12-3. DOI: https://doi.org/10.61728/AE24003780O

Becerra-Pérez, L.A.; Tyner, E.W.; and García-Paez, B. Cellulosic Ethanol in México: An Appraisal asIndustrial Feedstock. In Digambar NP (Ed.), Advances in Renewable Energy Engineering, Volume 1 (Chapter 1), AkiNik Publications, New Delhi, India (2019).ISBN: 978-93-5335-557-9.

Becerra-Pérez, L.A.; Gastélum-Delgado, M.A.; Posada-Duque, J.A. Diseño, costos y suministro de la cadena de rastrojo de maíz para etanol celulósico en México. In Proceedings of the Congreso Internacional de Energía 2021, Mexico City, Mexico, 20–24 September 2021.

Benítez, V. H. (2009). Sistema de costos basado en actividades. Libre Empresa, 6(2), 169-198.

Bohn, L. R., Dresch, A. P., Cavali, M., Vargas, A. C. G., Führ, J. F., Tironi, S. P., ... & Bender, J. P. (2021). Alkaline pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover for bioethanol production. Research, Society and Development, 10(11), e149101118914-e149101118914.

Borja, b (2013) Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. 12 Capítulo 1 Producción y consumo de rastrojos en México Crop residues production and consumption in Mexico Mercedes Borja Bravo*, Luis Reyes Muro, José Antonio Espinosa García y Alejandra Vélez Izquierdo. *borja.mercedes@infap.gob.mx

Bueno, C. D. S., Silveira, J. M. F. J. D., & Buainain, A. M. (2018). Innovation, networks and the paradigm of biofuels. International Journal of Entrepreneurship and Small Business, 35(3), 452-484.

Burkhardt, J. (2019). The impact of the Renewable Fuel Standard on US oil refineries. Energy Policy, 130, 429-437.

C. García Gutiérrez y G. D. Rodríguez Meza. Problemática y Riesgo Ambiental por el Uso de Plaguicidas en Sinaloa. Ra Ximhai Vol. 8, Número 3, septiembre - diciembre 2012 Profesor Investigador. CIIDIR COFAA-IPN Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250. Guasave, Sinaloa, México. C. P. 81101. cgarciag@ipn.mx; garciaciprian@hotmail.com

Cebrero Villa, K. J. (2024). El tratamiento financiero de la depreciación y deterioro en las propiedades, planta y equipo de una entidad mexicana 2023.

Chowdhury Harun , Bavin Loganathan. (2019). Third-generation biofuels from microalgae: a review, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, Volume 20, 2019

Collazos, W. P. (2009). El estudio de caso como recurso metodológico apropiado a la investigación en ciencias sociales. Educación y desarrollo social, 3(2), 180-195.

Compromisos de mitigación y adaptación 2020-2030. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), https://www.gob.mx/semarnat/articulos/compromisos-de-mitigacion-y-adaptacion-2020-2030

Contreras, R. (2004). El paradigma científico según Kuhn. Desarrollo de las ciencias: Del conocimiento artesanal hasta la ciencia normal. Revista VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química, 2004, 43-51.

Cook, D. E., & Shinners, K. J. (2011). Economics of alternative corn stover logistics systems. In 2011 Louisville, Kentucky, August 7-10, 2011 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Cruz Delgado, D.; Leos Rodríguez, J. A. (2019). La producción de maíz en Sinaloa, México, y sus implicaciones para el medio ambiente. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioamb., (25), 100–118 https://doi.org/10.17141/letrasverdes.25.2019.3705

Cuervo, L., Folch, J. L., & Quiroz, R. E. (2009). Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *BioTecnología*, *13*(3), 11-25.

DOE, U.S department of energy. Biomass Program, Growing America's Energy Future (Fact Sheet), septiembre, 2011 link https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/51241.pdf

Dupaľ, A., Richnák, P., Szabo, Ľ., & Porubanová, K. (2019). Modern trends in logistics of agricultural enterprises. Agricultural Economics/Zemědělská Ekonomika, 65(8).

E. Gnansounou, Arnaud Dauriat (2010) Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol: A review

Ebadian, M., Sokhansanj, S., & Webb, E. (2017). Estimating the required logistical resources to support the development of a sustainable corn stover bioeconomy in the USA. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 11(1), 129-149.

EIA (Energy Information Administration) (2023). Energy Information Administration. U.S. Energy-Related Carbon Dioxide Emissions, 2023

Energía, F. G. V. (2016). Un análisis comparativo de la transición energética en América Latina y Europa.Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Secretaría de Energía https://www.gob.mx/sener/es/articulos/el-fondo-para-la-

transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria?idiom=es

Francisco Noyola González, 2016. El nuevo mercado eléctrico mayorista en México. Aspectos de la Reforma Eléctrica: Un panorama diferente

Fugate, B. S., Mentzer, J. T., & Stank, T. P. (2010). Logistics performance: efficiency, effectiveness, and differentiation. Journal of business logistics, 31(1), 43-62.

G. Cervantes, 2021. Moving towards circular economy in agricultural sector: experimental farms in Guanajuato Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente N° 7

Galindo, F. S., Strock, J. S., & Pagliari, P. H. (2022). Impacts of corn stover management and fertilizer application on soil nutrient availability and enzymatic activity. Scientific reports, 12(1), 1985.

García Bustamante Carlos Alberto, Omar Masera Cerutti. 2016 estado del arte de la bioenergía en México link https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf

Glassner, D., Hettenhaus, J. R., & Schechinger, T. M. (1998). Corn stover collection project. In BioEnergy (Vol. 98, pp. 1100-1110).

Gonzalez, E. F. A., & Marin, J. S. Z. (2022). Diseño de un modelo de costos basado en actividades aplicado a procesos logísticos. Caso: empresa del sector alimenticio tradicional. Revista EIA, 19(37), 37009-pp.

González, Fredy. (2005). ¿Qué Es Un Paradigma? Análisis Teórico, Conceptual Y Psicolingüístico Del Término. Investigación y Postgrado, 20(1), 13-54. Recuperado en 01 de marzo de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872005000100002&lng=es&tlng=es.

Guillén, M. F. (2021). *2030: Cómo las tendencias actuales darán forma a un nuevo mundo*. Océano.

Hahn, R., & Cecot, C. (2008). The benefits and costs of ethanol: an evaluation of the government's analysis. Journal of Regulatory Economics, 35(3), 275–295. doi:10.1007/s11149-008-9080-1

Hernandez, Andres Guillermo, The Competitive Paradigm: Key Aspects of the Ideology and Practices Prevailing in Economics and Management (December 15, 2007). Magazine University and Business, Vol. 6, No.13, July-December 2007 , Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=1510390

Hess, J. R., Wright, C. T., & Kenney, K. L. (2007). Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production. Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy, 1(3), 181-190.

Huang, H., S. Long, and V. Singh. 2016. Techno-economic analysis of biodiesel and ethanol co-production from lipid-producing sugarcane. Biof., Biop. Bioref. John Wiley & Sons, Ltd. 10: 299-315.

IEA (International Energy Agency) (2024). Renewables 2023 Analysis and forecast to 2028

J. de J. Velázquez G.1‡, J.R. Salinas G.1, K.N. Potter2, M. Gallardo V.3, F. Caballero H.4 y P. Díaz M. (2002). Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo.

J. Zhao, Y. Yang, J. Lee, M. Zhang, and D. Wang .Technoeconomic Analysis of Ethanol Production from Corn Stover without Solid–Liquid Separation and Detoxification ACS

Sustainable Chemistry & Engineering 2022 10 (30), 10077-10083 DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c0357

J.K. Hazy, Mariano Torras, Alian S. Ashley Reconceptualizing value creation with limited resources J.Technol. Manag. Innov. 2008,Volume 3, Issue 3, págs: 45-54

J.M Montoya, 2010. Potencial y riesgo ambiental de los bioenergéticos en México. Ra Ximhai, enero-abril, año/Vol. 6, Número 1 Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 57-62

Jomini, A. H. (2012). The art of war. In The Roots of Logistics (pp. 29-40). Springer, Berlin, Heidelberg.

Kirtika Sharma, Anupriya Gupta and Neelam Rathore Sustainable Agriculture through Clean Energy Sources . In Advances in Renewable Energy Engineering; Digambar, N.P., Ed.; Akinik Publications: New Delhi, India, 2019; Volume 3, ISNB 978-93-5335-557-9; ISBN 978-5335-558-6.

Kramar, U., Topolšek, D., & Lipičnik, M. (2015). How to define logistics in agriculture. In Modern Problems of Agriculture Science Conference. Obtenido de http://www. kgau. ru/new/all/konferenc/konferenc/2013/e8. pdf.

Kukovič, D., Topolšek, D., Rosi, B., & Jereb, B. (2014). A comparative literature analysis of definitions for logistics: between general definition and definitions of subcategories. Business Logistics in Modern Management.

Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. Industrial & engineering chemistry research, 48(8), 3713-3729.

Kwilinski, A., Hnatyshyn, L., Prokopyshyn, O., & Trushkina, N. (2022). Managing the logistic activities of agricultural enterprises under conditions of digital economy. Virtual Economics, 5(2), 43-70.

Lamb William F (Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change and Priestley International Centre for Climate, School of Earth and Environment, University of Leeds, United Kingdom), Giacomo Grassi (European Commission, Joint Research Centre [JRC], Italy), 2022 Global emissions trends. Emissions Gap Report 2022: The Closing Window

Li, Z., Zhai, H., Zhang, Y., & Yu, L. (2012). Cell morphology and chemical characteristics of corn stover fractions. Industrial Crops and Products, 37(1), 130-136.

Linares, P. (2018). La transición energética. Ambienta, 125, 20-31.

Lu, X. B., Zhang, Y. M., Yang, J., & Liang, Y. (2007). Enzymatic hydrolysis of corn stover after pretreatment with dilute sulfuric acid. Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology, 30(7), 938-944.

M. Balat, H. Balat, C Öz, Progress in bioethanol processing, Progress in Energy and Combustion Science Volume 34, Issue 5, October 2008, Pages 551-573

M. H. M. Zainudin et al., “Enhancement of Agro-Industrial Waste Composting Process via the Microbial Inoculation: A Brief Review,” Agronomy, vol. 12, no. 1, p. 198, Jan. 2022. https://doi.org/10.3390/agronomy12010198

M. Ruiz Saiz-Aja, Begoña Fabrellas Rodríguez, Santiago Dávila Sena, Gabriel Santervás Gómez, Antonio Cabrera Marianini, Gema Gonzalo Pedrero, Carmen Tapia Carrasco y Antonio Callaba de Roa. 2016. Economía circular: objetivo cero residuos

Mac Dowell, N., Fennell, P. S., Shah, N., & Maitland, G. C. (2017). The role of CO2 capture and utilization in mitigating climate change. Nature climate change, 7(4), 243-249.

Macías Cervantes, A. S. (2023). Estrategia de marketing en el Comercial Escobar de la ciudad de Vinces, periodo 2022 (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB-FAFI. 2023).

Maya Ambía Carlos J. . Sinaloa: ¿cluster agroindustrial o territorio desincrustado?. México y la Cuenca del Pacífico. 2011; (41):127-160.[fecha de Consulta 9 de Agosto de 2024]. ISSN: 1665-0174. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=433747499006

Mendoza M., S., M. van Nieuwkoop, R. Tripp, J. Velázquez G. 1993. Síntesis de los estudios de diagnóstico realizados dentro del proyecto: "El sistema de labranza de conservación en maíz de temporal" durante el ciclo PV-92. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, DF

Montoya Leonardo Gerardo y Armenta Bojorquez Adolfo Dagoberto (2010). Reflexiones sobre el impacto socioeconómico del cultivo de maíz en Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 69-72

Morínigo, E. (2007). Depreciación, el costo invisible. Recuperado de https://www. emagister. com.

Morris, C., Pehnt, M., Landgrebe, D., Jungjohann, A., Bertram, R., Glastra, K., Franke, A., Fondation Heinrich-Boell-Stiftung France, 80 Quai de Jemmapes, 75010 Paris (France), & Heinrich Boell Stiftung, Berlin (Germany). (2012). Energy Transition. The German Energiewende.

Mukunda, A., Ileleji, K. E., & Wan, H. (2006). Simulation of corn stover logistics from on-farm storage to an ethanol plant. In 2006 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Organización de las Naciones Unidas. (SF) Extraido de: https://resocial.es/la-onu-estima-un-incremento-de-1-000-millones-de-personas-en-la-poblacion-mundial-para-2030/

Organización de las Naciones Unidas. (SF) Extraido de: https://www.un.org/es/global-issues/climate-change[Accedida 6 de junio 2025]

Orlandi Luis Alberto, Irma Noemi No., Adalberto Mario Ascurra, 2020 Factibilidad Económica de la Producción de Etanol a través del Rastrojo de Maíz y Sorgo mediante la aplicación de un modelo matemático.

Ortega, B. 2012. Análisis Coste-Beneficio (en línea). s.l., Instituto Econospérides. Consultado 10 dic.2024. Disponible en https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5583839

Papa, G., Rodriguez, S., George, A., Schievano, A., Orzi, V., Sale, K. L., ... & Simmons, B. A. (2015). Comparison of different pretreatments for the production of bioethanol and biomethane from corn stover and switchgrass. Bioresource technology, 183, 101-110.

Patel, A., & Shah, A. R. (2021). Integrated lignocellulosic biorefinery: Gateway for production of second generation ethanol and value added products. Journal of Bioresources and Bioproducts, 6(2), 108-128.

Pember, A., & Lemon, M. (2012). Measuring and managing environmental sustainability: Using activity-based costing/management (ABC/M). The Consortium for Advanced Management–International.

Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Montaño-Zetina, L. M., & Maldonado-López, L. A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 597-613.

Petrolia, D. R. (2008). The economics of harvesting and transporting corn stover for conversion to fuel ethanol: A case study for Minnesota. Biomass and Bioenergy, 32(7), 603-612.

Phillips, S., Aden, A., Jechura, J., Dayton, D., Eggeman, T., 2007. Thermochemical Ethanol via Indirect Gasification and Mixed Alcohol Synthesis of Lignocellulosic Biomass. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Technical Report NREL/TP-510-41168.

Prateep Na Talang, R., Na Sorn, W., Polruang, S., & Sirivithayapakorn, S. (2024). Alternative crop residue management practices to mitigate the environmental and economic impacts of open burning of agricultural residues. Scientific Reports, 14(1), 14372.

Qilin Liu , Qi Lei , Huiming Xu , Jiahai Yuan (2018). China's energy revolution strategy into 2030 Resources, Conservation and Recycling Volume 128, January 2018, Pages 78-89

R. A. Abreu Artiñano. Presidenta de la Comisión de Energía, Conferencia Nacional de Etanol 2022

Ramos Aguilar, J. A., & Hernández Veleros, Z. S. (2023). Impacto Económico y Ambiental de las Energías Renovables y No Renovables en México. Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA, 11(22), 17-27. https://doi.org/10.29057/icea.v11i22.10997

Ramos, A., Valera, J., de Gyarfas, V., Ortiz, A. L., Alonzo, L., Jáuregui, A. A., & Martínez, J. M. (2020). Policy Shift to Impact Renewable Energy Projects in Mexico. Mayer Brown, June.

RFA (Renewable Fuels Association). 2017 Ethanol Industry Outlook. Available: https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2017/02/Ethanol-Industry-Outlook-2017.pdf

RFA (Renewable Fuels Association). 2025 ethanol industry outlook: https://grains.org/ltamex/wp-content/uploads/sites/6/2025/04/2025-RFA-Ethanol-Industry-Outlook.pdf

Rivera de Jesús, César Augusto. Política energética: Retos fiscales 2024-2030 julio 2024 link https://ciep.mx/politica-energetica-retos-fiscales-2024-2030

Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., & Reisinger, A. (2021). Three ways to improve net-zero emissions targets. Nature, 591(7850), 365-368.

Ruan Z., Wang X., Liu Y. y Liao W. (2019). Chapter 3 - Corn. En Z. Pan R. Zhang, & S. Zicari (Eds.). Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products (pp. 59-72). Academic Press.

Rubin, E. M. (2008). Genomics of cellulosic biofuels. *Nature*, *454*(7206), 841-845.

Ruiz, H. A., Martínez, A., & Vermerris, W. (2016). Bioenergy potential, energy crops, and biofuel production in Mexico. BioEnergy Research, 9(4), 981-984.

Sánchez Riaño, A.M.; Gutiérrez Morales, A. I.; Muñoz Hernández, J. A. y Rivera Barrero, C. A. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. Revista Tumbaga (2010)

Sassners, P., Galbe, M., Zacchi, G., 2008. Techno-economic evaluation of bioetanol production from three different lignocellulosic materials. Biomass and Bioenergy 32 (5), 422–430.

Schleussner Carl-Friedrich, Alexander Nauels, Uta Klönne, Bill Hare. "The Paris Agreement – the 1.5 °C Temperature Goal". Climate Analytics. May 2022.

Schröder Patrick, Manuel Albaladejo, Pía Alonso Ribas, Melissa MacEwen y Johanna Tilkanen, 2020. La economía circular en América Latina y el Caribe Oportunidades para fomentar la resiliencia

Senatore, A., Dalena, F., & Basile, A. (2023). Ethanol: A Brief Review of the Major Production Methods in the World. Evaluation and Utilization of Bioethanol Fuels. II., 42-60.

Sheehan, J., Aden, A., Paustian, K., Killian, K., Brenner, J., Walsh, M., & Nelson, R. (2003). Energy and environmental aspects of using corn stover for fuel ethanol. Journal of Industrial Ecology, 7(3-4), 117-146.

SIAP (Sistema de Información Agrolimentario y Pesquero). Atlas Agoalimentario, 2020; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Gobierno de México: Mexico City, Mexico, 2024

Sinche, Danny. (2022). Biocombustibles de tercera generación: el potencial de las microalgas. https://www.petroenergia.info/post/biocombustibles-de-tercera-generaci%C3%B3n-el-potencial-de-las-microalgas

Solomon Barry D., Justin R. Barnes, Kathleen E. Halvorsen.2007. Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy Biomass and Bioenergy Volume 31, Issue 6 , June 2007, Pages 416-425

Song, S., Zhang, J., Gözaydin, G., & Yan, N. (2019). Production of terephthalic acid from corn stover lignin. Angewandte Chemie International Edition, 58(15), 4934-4937.

Stake, R. E. (2020). Investigación con estudio de casos.

Suh, K., Suh, S., Walseth, B., Bae, J., & Barker, R. (2011). Optimal corn stover logistics for biofuel production: A case in Minnesota. Transactions of the ASABE, 54(1), 229-238.

Thompson, J. L., & Tyner, W. E. (2014). Corn stover for bioenergy production: Cost estimates and farmer supply response. Biomass and Bioenergy, 62, 166-173.

Timmons, D.; Harris, J.M.; Roach, B. La economía de las energías renovables. In A GDAE Teaching Module on Social and Environmental Issues in Economics; Global Development and Environment Institute, Tufts University: Medford, MA, USA, 2014

Trivedi, P., Malina, R., & Barrett, S. R. (2015). Environmental and economic tradeoffs of using corn stover for liquid fuels and power production. Energy & Environmental Science, 8(5), 1428-1437.

Tyndall, J. C., Berg, E. J., & Colletti, J. P. (2011). Corn stover as a biofuel feedstock in Iowa's bio-economy: an Iowa farmer survey. Biomass and bioenergy, 35(4), 1485-1495.

Vidal, M. D. F. (2024). Agroinduústria: Etanol.

Wang, Y., Ebadian, M., Sokhansanj, S., Webb, E., & Lau, A. (2017). Impact of the biorefinery size on the logistics of corn stover supply–A scenario analysis. Applied Energy, 198, 360-376.

White TS (1997). The 60 minute ABC book-activity-based costing for operations management. Consortium For

Wingren, A., Galbe, M., Zacchi, G., 2008. Energy considerations for a SSF-based softwood ethanol plant. Bioresource Technology 99 (7), 2121–2131.

Wood, C.W., J.H. Edwards y C.G. Cummins 1991. Tillage and crop rotation effects on soil organic matter in a Typic Hapludult of northern Alabama. J. Sustainable Agric. 2:31-41

Wooley, R., Ruth, M., Sheehan, J., Ibsen, K., Majdeski, H., Galvez, A., 1999a. Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Cocurrent Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis: Current and Futuristic Scenarios.

Wyman, C. E. (2007). What is (and is not) vital to advancing cellulosic ethanol. Trends in Biotechnology, 25(4), 153–157.

Yuanrong Zhou, Stephanie Searle, and Sunitha Anup, (2021). Techno-economic analysis of cellulosic ethanol in India using agricultural residues.

Zabed, H., Sahu, J. N., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2016). Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: an overview on feedstocks and technological approaches. Renewable and sustainable energy reviews, 66, 751-774.

Zhang, L., Shen, Q., Kow, K. W., Chen, Q., Chen, W., Wu, T., ... & Wei, W. (2024). Potential solution to the sustainable ethanol production from industrial tail gas: An integrated life cycle and techno-economic analysis. Chemical Engineering Journal, 487, 150493.

Zickfeld, K., MacIsaac, A.J., Canadell, J.G. et al. Net-zero approaches must consider Earth system impacts to achieve climate goals. Nat. Clim. Chang. 13, 1298–1305 (2023). https://doi.org/10.1038/s41558-023-01862-7

ANEXOS

costo de Mantenimiento	Costo por Hora	desmenuzado	hilerado	empacado	transporte
Preventivo Motor (Cada 250 hrs)	23.56				
Preventivo Hidráulico/Transmisión (Cada 1,500 hrs)	5.46666667				
Costo Total de Mantenimiento por Hora	**29.02666667**	174.16	116.106667	261.24	
Concepto / Insumo	**Unidad de Medida**	**Costo por Evento ($)**			
Mantenimiento de Motor					
- Filtro de combustible	Pieza	1,349.00			
- Cartucho de filtro	Pieza	674			
- Filtro de aceite	Pieza	617			
- Aceite de motor (19 Lt)	Litros	2,850.00			
- Mano de obra (Motor)	Servicio	400			
Subtotal Mantenimiento Motor	*Ciclo: 250 h*	***5,890.00***			
Mantenimiento Hidráulico / Transmisión					
- Aceite hidráulico (53 Lt)	Litros	7,950.00			
- Mano de obra (Hidráulico)	Servicio	250			
Subtotal Mantenimiento Hidráulico	*Ciclo: 1,500 h*	***8,200.00***			

Costo Mantenimiento	
Filtro combustible	$1,349.00
Cartucho filtro	$674.00
filtro de aceite	$617.00
Aceite 19 Lt	$2,850.00
mano de obra	$400.00
total	$5,890.00
mantenimiento por hora(motor)	$23.56
Aceite hidraulico 53 Lt	$7,950.00
mano de obra	$250.00
mantenimiento por hora(transmision)	$5.47

PRODUCTO	CANTIDAD
Diesel para desmenuzaro	59 LTS
Diesel para juntar la pastura	15 LTS
Diesel para empacar	50 LTS
Hilo para empacar	3.7 PZ
Operador	3 dias
# de pacas producidas	

Concepto de costos	**Costos**
Costo de mantenimiento y depreciacion	$3,578.39
Costo de combustible utilizado	$3,159.35
Costo de mano de Obra	$2,100.00
Total por Actividad	
Materiales	$3,515.00
Costo de rastrojo no empacado	$1,000.00
sueldo del administrador	$1,000.00
horas de trabajo en 10 hct	19

Costo por paca llevada a almacenamiento MXN	13.9	
Costo por paca tirada MXN	5.9	
Costo por tonelada MXN	695	
Costo por tonelada en Dolares	36.57894737	tipo de cambio 19 pesos por dolar