



CONAHCYT

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA

Caracterización Integral de Materias Primas y Productos del Sistema CAÑA DE AZÚCAR - PILONCILLO



**L. Fabiola Palomo González, Marco A. Sánchez Castillo,
Ma. del Refugio Pérez Barba, Ma. Alicia de Anda Salazar,
Lorena González Suarez, Miguel A. Ruiz Cabrera,
Sergio A. Gómez Torres.**

Caracterización integral de materias primas y productos del sistema caña de azúcar – piloncillo

**L. Fabiola Palomo González, Marco Antonio Sánchez Castillo,
Ma. Del Refugio Pérez Barba, Alicia de Anda Salazar,
Lorena González Suarez, Miguel Ángel Ruiz Cabrera,
Sergio A. Gómez Torres.**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

San Luis Potosí, México, 2023

ISBN 978-607-535-378-4

Edición Digital

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

© Derechos reservados

2023

Autores

MC. L. Fabiola Palomo González

Estudiante de Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
a162365@alumnos.uaslp.mx



Dr. Marco A. Sánchez Castillo

Profesor
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
masanchez@uaslp.mx



M.C. Ma. Del Refugio Pérez Barba

Profesor
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
rperez@uaslp.mx



M.C. Alicia de Anda Salazar

Profesor
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
adas@uaslp.mx



M.C. Lorena González Suarez

Profesor
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
lorena.gonzalez@uaslp.mx



Autores



Dr. Miguel Ángel Ruiz Cabrera

Profesor

Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

mruiz@uaslp.mx



Dr. Sergio A. Gómez Torres

Profesor

Área de Ingeniería Química
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

sgomez@xanum.uam.mx

Portada

MC. Clara Ma. Martínez Jasso

**Estudiante de Doctorado en Ingeniería
Química**

Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

a244295@alumnos.uaslp.mx



PRESENTACIÓN

México es un mosaico multicolor de historias, tradiciones y costumbres, con una variedad y diversidad de recursos naturales, con fuertes asimetrías en sus perfiles sociales y económicos, pero con principios, valores y visiones comunes, que nos identifican y nos motivan a ser parte de un cambio que dibuje mejores horizontes de igualdad, justicia, desarrollo y bienestar para toda nuestra sociedad. En este escenario, la actual política pública ha identificado problemáticas nacionales concretas que deben ser atendidas de forma inmediata, creativa e innovadora. Es ahora imperativo que las soluciones propuestas surjan de un intercambio de saberes y vivencias entre aquellos que son los agobiados por la problemática y los actores de los diferentes sectores de la sociedad, que se deben vincular armónicamente para dar una solución a las problemáticas desde una perspectiva de equidad y sostenibilidad. Si bien es pertinente que las soluciones viables a estas problemática residan sobre bases científicas y tecnológicas, es imperativo que incluyan también los mecanismos para su adecuada transferencia e implementación en el sector de incidencia. Es deseable que las soluciones, además, sean escalables, replicables y, sobre todo, adaptables a diferentes realidades de cada comunidad. El impacto de este enfoque se determinará en la medida que la soluciones implementadas se conviertan en un vector para que los beneficiarios logren mejores condiciones de bienestar.

En este contexto, el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) propuso el desarrollo de Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (Pronaii) para atender los complejos problemas de nuestro país, entre ellos los asociados a “Energía y Cambio Climático”. Los Pronaii son de naturaleza integral, interdisciplinar e interinstitucional, y, en general, ejecutan acciones para promover la generación y el uso sustentable de la energía, promoviendo el acceso democrático de los servicios energéticos a las comunidades más pobres y vulnerables de nuestro país.

Es evidente que la disponibilidad de energía en comunidades rurales con notorios retos socio-económicos determina, en gran medida, la calidad de vida de las familias, así como la productividad y la calidad de los productos de las pequeñas unidades agroindustriales. Este es el caso de las comunidades de origen Tének que producen piloncillo artesanal en la zona Huasteca de San Luis Potosí. Una visita a las familias de estos grupos originarios exhibe los evidentes rezagos en el acceso a servicios públicos de energía y/o en el uso eficiente de energía. Notoriamente, el rezago social, educativo y económico no les permite aprovechar los recursos naturales para generar energía y usarlas para su beneficio sus actividades productivas y domésticas. Para atender esta situación, distintiva también de otras unidades agrícolas y agroindustriales rurales de nuestro país, nuestro equipo de trabajo se propuso identificar, validar, gestionar e implementar tecnologías para hacer uso integral y eficiente de los recursos naturales y de los residuos orgánicos de pequeñas unidades piloncilleras, con el fin de desarrollar sistemas híbridos y sostenibles que optimicen la productividad y calidad de los productos actuales, y que provean de energía renovable tanto a las unidades productivas como a sus viviendas. El CONAHCYT avaló favorablemente este proyecto y otorgó un apoyo económico para el desarrollo del Pronaii 321073, titulado “*Desarrollo social y económico de pequeñas unidades agroindustriales con base en la socialización, gestión, generación y/o uso eficiente de energía sustentable*”. El alcance de este proyecto se extiende al desarrollo de procesos circulares que valoricen los productos y residuos de la unidad piloncillera, para generar otros productos y servicios de valor agregado que pueden ser comercializados directamente por los micro productores y sus familias, en un enfoque de emprendimiento social.

Un elemento distintivo del Pronaii 321073 es que ejecuta acciones con favorables impactos en toda la cadena de valor del sistema productivo caña de azúcar – piloncillo, desde el corte de la caña hasta la comercialización de los productos derivados del piloncillo. A su término, el proyecto establecerá las bases para las acciones de incidencia realizadas sean apropiadamente transferidas, de tal forma que los micro productores las ejecuten de forma independiente y sostenible. Como resultado integral de esta dinámica, el equipo de trabajo formulará un modelo de incidencia replicable y escalable a otros sistemas productivos rurales, para promover el uso de la energía con enfoque sostenible en las viviendas y las pequeñas unidades agroindustriales, como mecanismo para promover el justo acceso y uso de los recursos naturales, la reducción de desigualdades, el desarrollo económico y el bienestar de las comunidades.

En este escenario, se presenta ahora al lector una serie de obras derivadas del Pronaii 321073 que describen los principios, las estrategias, las metodologías, las acciones, los resultados y/o los impactos en las comunidades Tének de la zona de incidencia. Las obras cubren diferentes eslabones de la cadena de valor del sistema productivo caña de azúcar – piloncillo y están escritas para planear al lector aspectos generales que puedan ser extrapolados y validados en otros sistemas productivos. Confiamos que las obras sean de utilidad para los beneficiarios de las acciones del Pronaii 321073, para gestores públicos y privados que promueven programas que llevan beneficios a las comunidades, para actores de los diferentes sectores, interesados en ser agentes de cambio positivo en zonas con grandes rezagos socioeconómicos, y para los responsables de política pública, para que detonen más estrategias, acciones y recursos económicos en beneficio de las pequeñas unidades agroindustriales de las comunidades de los grupos originarios en nuestro país.

En esta obra se documentan las técnicas de caracterización de las materias primas, subproductos, productos y residuos del sistema productivo caña de azúcar – piloncillo, en las diferentes etapas del proceso: cosecha, extracción, evaporación, procesamiento y/o valorización. La determinación de las propiedades químicas, físicas, térmicas, microbiológicas, bromatológicas y organolépticas permite, entre otros muchos factores, evaluar rendimientos, validar la calidad de los productos y evaluar el potencial de los residuos para diversas aplicaciones de interés para los productores de piloncillo artesanal. La obra incluye información sobre el protocolo de obtención de cada muestra, así como las secuencias de caracterización por técnicas selectivas para la matriz de cada muestra; los resultados de las técnicas implementadas fueron validados con respecto a rangos característicos reportados en la literatura.

Dr. Marco Antonio Sánchez Castillo

Responsable Técnico del Pronaii 321073

Responsable de la Obra

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías para el desarrollo del Pronaii 321073 *“Desarrollo social y económico de pequeñas unidades agroindustriales con base en la socialización, gestión, generación y/o uso eficiente de energía sustentable”*.

De forma especial, se agradece el interés y la dedicación de los miembros de la comunidades

Tének en los Municipios de Tanlajás, Tancanhuitz y San Antonio, S.L.P.

Su confianza, su forma natural y directa de compartir sus sueños y visiones,

su creatividad e ingenio, su atención con el grupo de trabajo, su vocación

y decisión para intentar una y otra vez hasta conseguir una meta,

y su amistad irrestricta, son una continua motivación para ser

agentes de cambio en nuestra comunidades rurales.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PERFIL DEL SECTOR PRODUCTIVO CAÑA DE AZÚCAR - PILONCILLO	5
2.1	PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR.....	6
2.2	PRODUCTOS ALTERNATIVOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR	7
2.3	RELEVANCIA ECONÓMICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	9
2.4	PRODUCCIÓN ARTESANAL DE PILONCILLO.....	11
2.5	ALTERNATIVAS PARA QUE EL PRODUCTOR DIVERSIFIQUE LOS PRODUCTOS.....	16
2.6	ALTERNATIVAS COMPLEMENTARIAS PARA VALORIZAR LOS PRODUCTOS	19
2.7	ENFOQUE INTEGRAL DE ANÁLISIS	20
2.8	POTENCIAL BENEFICIO DE LAS CARACTERIZACIONES PARA LOS PRODUCTORES	24
2.9	POTENCIAL BENEFICIO DE LAS CARACTERIZACIONES PARA DESARROLLO TECNOLÓGICO	29
3	COLECCIÓN DE MUESTRAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO CAÑA-PILONCILLO	35
3.1	CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN PILONCILLERA DE TANLAJÁS SLP.....	35
3.2	VARIEDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR	36
3.3	CONDICIONES DE CULTIVO DE CAÑA.....	36
3.4	CORTE Y TRASLADO DE LA CAÑA	40
3.5	EXTRACCIÓN DEL JUGO DE CAÑA	40
3.6	CUIDADOS EN EL MANEJO DE LAS MUESTRAS	41
3.7	DATOS PARA EL BALANCE DE MATERIA DEL CORTE DE CAÑA Y EXTRACCIÓN DEL JUGO	42
3.8	HORNO	43
3.9	DATOS REQUERIDOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL HORNO.....	45
3.10	EVAPORACIÓN DEL JUGO DE CAÑA EN PILONCILLO: PUNTERA	47
3.11	DATOS REQUERIDOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA PUNTERA	48
3.12	BALANCE DE MATERIA	50
3.13	NIVEL DE PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR Y PILONCILLO	50
4	ESTRATEGIA DE CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS	51
4.1	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.....	51
4.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICA	52
4.3	CARACTERIZACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	52
4.4	CARACTERIZACIÓN DE BROMATOLÓGICOS.....	53
5	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE COMPOSICIÓN QUÍMICA	54
5.1	DETERMINACIÓN DE AZUCARES POR HPLC	54
5.2	GRADOS BRUX	54
5.3	PH.....	55
5.4	GRADOS BRUX	56
5.5	CONTENIDO DE AZÚCARES TOTALES.....	57
5.6	ACTIVIDAD DE AGUA	58
5.7	ANÁLISIS DEL CONTENIDO METÁLICO	59
6	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LIGNOCELULÓSICOS	61
6.1	EXTRAÍBLES	63
6.2	DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA	64
6.3	DETERMINACIÓN DE CELULOSA.....	65
6.4	DETERMINACIÓN DE HEMICELULOSA.....	67
6.5	DETERMINACIÓN DE LIGNINA INSOLUBLE EN ÁCIDO.....	67
6.6	DETERMINACIÓN DE CENIZAS Y MATERIA ORGÁNICA	68

7	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA	71
	7.1 DIMENSIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR	71
	7.2 DENSIDAD.....	71
	7.3 HUMEDAD	72
	7.4 DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA	73
8	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN TÉRMICA	75
	8.1 CALORIMETRÍA.....	75
	8.2 TPD	76
9	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO: JUGO Y PILONCILLO	79
	9.1 MÉTODO PARA LA CUENTA DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA	79
	9.2 MÉTODO PARA LA CUENTA DE MICROORGANISMOS COLIFORMES TOTALES EN PLACA	81
	9.3 MÉTODO PARA LA CUENTA DE MOHOS Y LEVADURAS EN ALIMENTOS.....	84
10	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICAS.....	86
	10.1 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES	86
	10.2 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS TOTALES	87
	10.3 DETERMINACIÓN DE GRASA: MÉTODO DE SOXHLET	88
	10.4 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS: MÉTODO DE MICROKJELDAHL.....	90
	10.5 VIDA DE ANAQUEL	91
11	TRANSFERENCIA DE SABERES.....	93
	ANEXO: BIBLIOGRAFÍA GENERAL	95

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	PRODUCCIÓN 2022-2023 DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN SAN LUIS POTOSÍ	9
TABLA 2.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR	15
TABLA 3.	APLICACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA DE LA CAÑA Y DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR	21
TABLA 4.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE LA CANA DE AZÚCAR (ENFOQUE PRIMARIO)	25
TABLA 5.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR	26
TABLA 6.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL PILONCILLO (ENFOQUE PRIMARIO)	27
TABLA 7.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA	28
TABLA 8.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR	30
TABLA 9.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR (ENFOQUE SECUNDARIO)	31
TABLA 10.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL PILONCILLO	32
TABLA 11.	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL BAGAZO DE LA CAÑA (ENFOQUE SECUNDARIO)	34
TABLA 12.	VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR EN SAN LUIS POTOSÍ	37
TABLA 13.	DATOS REQUERIDOS PARA EL PROCESO DE MUESTREO	44
TABLA 14.	REGISTRO DE DATOS DEL PERFIL DE TEMPERATURA EN EL HORNO	46
TABLA 15.	REGISTRO DE DATOS DEL PERFIL DE TEMPERATURA EN LA PUNTERA	49
TABLA 16.	REGISTRO DE DATOS DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE INCUBACIÓN PARA CADA GRUPO BACTERIANO	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	ESQUEMA DEL PROCESO ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE PILONCILLO EN LA REGIÓN HUASTECA	12
FIGURA 2.	ESQUEMA DE UNA MICRO- BIORREFINERÍA RURAL.	18
FIGURA 3.	DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS DEL SISTEMA CAÑA DE AZÚCAR - PILONCILLO	23
FIGURA 4.	PAISAJE Y CULTIVO DE CAÑA EN TANLAJÁS, SLP	35
FIGURA 5.	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	39
FIGURA 6.	CORTE DE LA CAÑA DE AZÚCAR	40
FIGURA 7.	PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR	41
FIGURA 8.	ESQUEMA DEL BALANCE DE MATERIA DE CORTE Y EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA	42
FIGURA 9.	HORNO	43
FIGURA 10.	COCCIÓN DEL JUGO DE CAÑA EN PUNTURA	48
FIGURA 11.	DIAGRAMA DE SECUENCIA ANALÍTICA PARA LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA	62
FIGURA 12.	SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRAÍBLES.	63
FIGURA 13.	FRACCIÓN DE HOLOCELULOSA, BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	64
FIGURA 14.	FRACCIÓN DE CELULOSA, BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	66
FIGURA 15.	FRACCIÓN DE LIGNINA, BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	68
FIGURA 16.	CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	69
FIGURA 17.	PROCESO DE TAMIZADO	73
FIGURA 18.	EQUIPO DE MICRORREACCIÓN ICID.	76

1 INTRODUCCIÓN

Las caracterizaciones químicas, físicas, térmicas, microbiológicas, organolépticas y/o bromatológicas de las materias primas, productos y residuos del sistema productivo caña de azúcar – piloncillo son indispensable para conocer, entre otros aspectos:

- La calidad de la materia prima y de los principales productos de procesamiento.
- El efecto de los parámetros de procesamiento en las propiedades finales de los productos.
- El potencial de los materias primas, subproductos y residuos para proponer otras aplicaciones de interés para los micro productores rurales.

Es evidente la relevancia de la información anterior cuando se optimiza o se desarrolla un nuevo proceso o producto en el laboratorio. Sin embargo, es importante indicar que las caracterizaciones son también de mucha utilidad para que los micro productores en campo den respuesta a muchas preguntas que, sin duda, surgen al momento que están laborando en su unidad productiva. Algunos ejemplos de esas preguntas son los siguientes:

- ¿Cuál es el rendimiento de extracción de jugo de la caña de azúcar?
- ¿Cuál es el rendimiento de producción de piloncillo a partir del juego de caña utilizado?
- ¿Cómo puedo saber si mi producto es mejor que el de otros productores?
- ¿Cómo le mido la calidad al piloncillo granulado?
- ¿Por qué se forman las boronas? ¿Como las reduzco poque me bajan el precio?
- ¿Por qué varía el color del piloncillo?
- ¿Para qué otra cosa puedo usar el bagazo?

Las caracterizaciones de las materias primas, los productos y los subproductos sirven para encontrar las respuestas a las preguntas anteriores y a muchas otras y guían al productor o a un equipo técnico a:

- Entender y describir el sistema para sacar el mayor beneficio económico y ambiental.
- Aceptar cambios que permitan facilitar el procesamiento de la caña de azúcar
- Introducir y usar tecnología que permitan eficientizar el proceso de producción en tiempo, energía y costos, sin faltar los usos y costumbres de la comunidad.
- Mejorar / optimizar procesos y productos optimizando y validando la manera que permita obtener los mayores rendimientos.
- Estandarizar el proceso y por lo tanto homogeneizar el producto obtenido entre los productores de la zona, permitiendo la comercialización de un producto de calidad.

- Validar calidades que exige la normativa mexicana para poder ofertar un producto y documentar potencial de comercialización

Esta obra contiene una recopilación de diversas técnicas de caracterización química, física, térmica, microbiológica y bromatológica basadas en normativas mexicanas, normativas internacionales y diversas fuentes de la literatura. En todos los casos se identificaron métodos de caracterización que son adaptables y validados para la materia prima, subproductos, productos y residuos del sistema caña – piloncillo, selectivas para la matriz de cada tipo de muestra, aplicadas en las condiciones de campo y sin uso excesivo de reactivos contaminantes.

En el caso de las caracterizaciones químicas se incluyen métodos para los análisis del bulk y de la superficie. En el caso del bulk se caracterizan la composición química y el contenido metálico y por otra parte los análisis superficiales permiten determinar pH para la caña de azúcar y el bagazo. La secuencia de caracterización física permite determinar la morfología de la caña de azúcar, el contenido de humedad y el tamaño de partícula del piloncillo y del bagazo. Los análisis bromatológicos sirven para evaluar la calidad del jugo de caña de azúcar y del piloncillo; esta información genera datos cuantitativos referentes a la composición nutrimental del piloncillo, requeridos por la normativa mexicana para validar la higiene y la calidad del producto, así como el tiempo de vida de anaquel y de consumo preferente. Por otra parte, los análisis microbiológicos se usan para monitorear la calidad y la higiene durante los procesos de fabricación y el manejo de los productos finales. En esta obra, los análisis microbiológicos se orientan a detectar bacterias como *Salmonella*, *Escherichia coli* (E. coli), *Listeria*, que pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos. Los resultados relevantes de la implementación de las técnicas de caracterización incluyen:

- a) Calibración de equipos y adquisición de insumos requeridos en los protocolos de análisis.
- b) Validación de metodologías sustentables, disminuyendo la cantidad de reactivos contaminantes utilizados.
- c) Identificación de rangos de resultados confiables para muestras similares en la literatura.
- d) Correlaciones de las características de la materia prima y los resultados de análisis.
- e) Identificación de los análisis requeridos para complementar la caracterización de la caña de azúcar y sus subproductos en función de nuevas aplicaciones.

Las muestras de caña de azúcar, jugo, piloncillo y bagazo usadas para calibrar los métodos y validar los resultados se colectaron en la región Huasteca de San Luis Potosí, en comunidades Tének de alta marginación social y económica, donde los micro productores se dedican a la producción artesanal de

piloncillo desde hace muchas décadas. Los resultados de las caracterizaciones han favorecido la propuesta de estrategias de análisis dinámicas y adaptables a los procesos productivos.

De formas complementarias las caracterizaciones de la materia prima, subproductos, productos y residuos del sistema productivo caña de azúcar – piloncillo, genera información necesaria para capacitar al productor o a miembros de un equipo técnico, en el entendimiento, descripción, operación y optimización de los procesos productivos. También facilita el desarrollo de nuevos procesos y productos que diversifican las opciones de comercialización y el beneficio económico para la comunidad. Por otra parte, para que un productor tenga los beneficios de las caracterizaciones referidas es conveniente establecer un trabajo colaborativo con instituciones educativas que tengan las instalaciones, el equipo y el personal habilitado para realizar los análisis necesarios. Además, debe existir el interés y la responsabilidad social para favorecer la transferencia de saberes, como premisa para detonar la productividad y calidad de procesos y productos artesanales en las unidades productivas piloncilleras.

2 PERFIL DEL SECTOR PRODUCTIVO CAÑA DE AZÚCAR - PILONCILLO

La caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, es una poácea originaria de Nueva Guinea cuyo cultivo se extendió progresivamente a zonas tropicales a subtropicales alrededor del mundo. En la actualidad, los principales países productores de caña de azúcar se ubican entre los 36.7° de latitud norte y los 31.0° al sur del Ecuador. En España se introdujo en el siglo VIII y fue traída a México alrededor de 1522. La primera plantación de caña de azúcar se llevó a cabo en Veracruz, en donde también se instalaron los primeros ingenios azucareros. El cultivo se extendió a otras zonas cálidas del país y en la actualidad la caña de azúcar se cultiva en 15 estados (SADER, 2023). A pesar de que la caña de cultivo es un cultivo centenario en nuestro país, aun se existen enormes brechas en las diferentes regiones productoras de caña en cuanto al nivel de tecnificación del cultivo y de la cosecha de la caña de azúcar; consecuentemente, hay notoria diferencias en la productividad y la calidad del producto.

En este escenario, los productores con más tecnología y recursos económicos desarrollan la logística para colocar su producto en los ingenios azucareros, los cuales extraen el jugo de caña y cristalizan la sacarosa para obtener azúcar, uno de los principales insumos para la industria de alimentos. En algunos casos, los ingenios también aprovechan los productos intermedios y/o residuales de este proceso, como el bagazo y la melaza, para generar otros productos de valor agregado, relativamente convencionales, tales como fertilizantes, alimento animal, etanol, bebidas alcohólicas y papel (Romero *et al.*, 2011; Aguilar, 2015).

En paralelo, la cadena de valor de los micro-productores de caña de azúcar en zonas rurales de nuestro país es todavía muy incipiente. En el caso más común, el micro-productor cosecha su caña y la traslada al “trapiche” que es una pequeña unidad productiva en la cual, con el apoyo de su familia y usando técnicas ancestrales, convierte el jugo de caña en piloncillo, un endulzante natural muy tradicional de muchas zonas cañeras.

Al hacer un comparativo entre los procesos de comercialización y los beneficios económicos que obtienen, por una parte, los productores que abastecen la caña a los grandes ingenios azucareros y, por otra parte, los micro-productores que utilizan la caña para producir piloncillo artesanal y que dependen del intermediarismo para colocar su producto en el mercado, las diferencias son enormes. Si bien los rezagos característicos de los micro-productores se conocen desde hace muchas décadas y está documentado que se ha otorgado una cantidad significativa de apoyos públicos al sector cañero en las diversas entidades del país, es evidente que estos apoyos o no han sido suficientes, o no se han aplicado correctamente. El cualquier caso, el resultado es que existen múltiples comunidades de micro-productores

piloncilleros con grandes rezagos tecnológicos, energéticos, económicos y sociales, que les originan precarias condiciones de bienestar y desarrollo humano. De forma preocupante, ante la urgencia de mejorar el bienestar de su familia, muchos micro-productores deciden abandonar sus parcelas y emigrar a zonas urbanas en busca de una mejor remuneración económica, lo que a su vez origina graves problemas en el tejido social, pérdida de su identidad y tradiciones y su derecho a aspirar de forma digna a un mejor futuro en la tierra que heredó de sus antepasados.

2.1 Producción de caña de azúcar

México se identifica como un importante productor de caña a nivel mundial. De hecho, en 2022, México ocupó el sexto lugar como productor de caña de azúcar con 55,556,083.44 ton y el séptimo lugar como exportador de azúcar a nivel mundial con un total de 1,896,932 ton (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, 2022). Complementariamente, de acuerdo con información del Segundo Estimado de Producción de Caña y Azúcar de la zafra 2021/22, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y de la Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), otros datos representativos del relevancia del sistema productivo de caña de azúcar en nuestro país son los siguientes:

- La superficie de caña de azúcar a industrializar fue de 805,491 ha.
- La caña de azúcar a industrializar fue de 53,923,1521 ton.
- El rendimiento en campo fue de 66.94 ton/ha.
- La producción de caña de azúcar se estimó en 6,059,942 ton.
- El rendimiento de fábrica fue de 11.24 %.
- El rendimiento agroindustrial fue estimado en 7.52 t/ha (SADER y CONADESUCA, 2021).

En términos de los liderazgos de producción de caña a nivel nacional en 2022, el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP) reportó que Veracruz se destacó como el principal productor de caña con 20,750,194 ton, seguido de Jalisco con 7,011,454 ton y de San Luis Potosí 5,456,201.74 ton. Como se ha referido, la caña se puede enviar a los ingenios o bien se puede usar para elaborar productos artesanales. A este respecto, San Luis Potosí ha ocupado en varios años el primer lugar a nivel nacional en el uso de caña para la producción artesanal de piloncillo (SADER, 2020).

En San Luis Potosí, la producción de caña de azúcar se localiza en la región conocida como la Huasteca. De acuerdo con Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información

Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el año 2022, los principales municipios productores en esta región fueron: Ciudad Valles (2,204,531 ton), El Naranjo (922,198 ton), Tamasopo (813,488 ton), Tamuín (668,800 ton), San Vicente (323,674 ton), Aquismón (214,786 ton), Tanlajás (181,936 ton), Tancanhuitz (61,499 ton), Tampamolón (12,564 ton) y Ébano (61,740.50). Se hace notar que en los municipios con la mayor a producción de la caña de azúcar se encuentran establecidos los grandes ingenios azucareros en el estado de San Luis Potosí:

- a) Ingenio San Miguel Del Naranjo, ubicado en el Municipio del Naranjo,
- b) Ingenio Plan de San Luis, que se ubica en el Ejido la Hincada, perteneciente al municipio de Ciudad Valles,
- c) Ingenio Plan de Ayala, ubicado en el Municipio de Ciudad Valles,
- d) Ingenio Alianza Popular, ubicado en el Municipio de Tamasopo.

Por otra parte, en los municipios con menor producción de caña, como Tanlajás y Tancanhuitz, no se ubican ingenios azucareros y la caña se usa preferentemente a la producción artesanal de piloncillo.

Si bien no hay censos actualizados de la actividad cañera de los municipios de la Huasteca Potosina, se estima que en los municipios con mayor producción de caña laboran alrededor de 14,000 productores y de 10,000 cortadores (El Sol de San Luis, 2018), mientras que los municipios de menor producción de caña se ubican alrededor de 4,000 productores quienes, por lo general, tiene extensiones de cultivo menores a 2 ha (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, 2022).

2.2 Productos alternativos de la caña de azúcar

Como ya se indicó, los productos más importante de la caña son el azúcar y el piloncillo, a nivel industrial y artesanal, respectivamente. Sin embargo, en ambos niveles de producción se pueden identificar alternativas para diversificar los productos derivados de la caña. Aún más relevante, es que desde el nuevo enfoque de economía circular los productos intermedios y los residuos derivados del procesamiento industrial y artesanal de la caña de azúcar, son materias primas para generar otros productos con valor agregado de interés para diversas cadenas de valor. De esta forma, la implementación de tecnología para diversificar el procesamiento de la caña de azúcar, de los intermediarios y de sus residuos, es una opción para atender diversas necesidades de la población y, sobre, todo, es muy favorable en términos económicos para todos los involucrados en la cadena de valor. En esta sección, se identifican algunas alternativas que han sugerido para diversificar los productos de la caña de azúcar, haciendo notar

que a la fecha tienen diferente grado de desarrollo, pero que representan ya opciones validadas para el sector cañero a nivel industrial y artesanal. Una observación muy importante: ninguna de las alternativas de procesamiento indicadas debe poner en riesgo la meta principal del uso de la caña en nuestro país, que es la producción de azúcar y de sus derivados para el sector de alimentos.

Múltiples enfoques han sido reportados en la literatura para el aprovechamiento o valorización de residuos agrícola y agroindustriales en el marco de enfoques circulares (Hingsamer & Jungmeier, 2022; Arias *et al.*, 2023). Algunas de estas alternativas se han implementado de forma exitosa en los sistemas productivos de caña de azúcar de varios países, que tiene condiciones socioeconómicas similares a las que prevalecen en las comunidades rurales de nuestro país (Karp *et al.*, 2022). Sin embargo, en México no se han establecido todavía suficientes esquemas integrales para el procesamiento de caña de azúcar y de los subproductos generados en estos procesos.

Algunas de las alternativas implementadas o en desarrollo en varios ingenios azucareros en nuestro país, demuestran la viabilidad de obtener productos alternativos, entre otros productos, melaza, fertilizantes, alcohol (etanol y otras bebidas destiladas), energía calorífica y energía eléctrica. En estos procesos, las tecnologías implicadas integran los residuos del procesamiento de la caña para generar insumos necesarios en el mismo sistema productivo, como el caso de energía calorífica o eléctrica, o para generar productos para la industria de alimentos, ya sea de consumo humano o animal, y para otras cadenas del sector productivo (Arias *et al.*, 2023). Este esquema circular coadyuva a resolver grandes problemáticas a nivel global y local, entre ellas:

- mitiga la emisión de residuos contribuyendo a la preservación del medio ambiente,
- reduce el uso de fuentes no renovables para la generación de energía,
- genera nuevos productos con valor agregado en el mercado,
- mejora la economía.

En resumen, el empleo de subproductos y de residuos generado en el procesamiento de la caña de azúcar contribuye al desarrollo sostenible. En México existe un enorme potencial para detonar este tipo de industrias con enfoque sostenible, que tengan un gran impacto para mejorar la economía, generando empleos dignos y constituyéndose la base para generar bienestar a todos los actores del sector agrícola.

Los principales productos obtenidos en los ingenios que operan en San Luis Potosí se incluyen en la Tabla 1 para el periodo 2022-2023 (Cámara Nacional de la Industria de Azúcar, 2022). La importante contribución de estos ingenios a la economía estatal se puede potencializar en la medida que se incorporen nuevas etapas de proceso para el aprovechamiento de los subproductos o residuos como bagazo, lodo

prensado, melaza, vinaza y efluentes de lavado en diferentes etapas del proceso. En el enfoque de economía circular estos efluentes son materias primas para la fabricación, entre muchos otros productos de interés local, de abonos, alimento animal, bebidas alcohólicas destiladas, aditivos para alimentos y la industria química, materiales de construcción y energía. Notoriamente, los productos derivados de los residuos del procesamiento de la caña de azúcar tienen características funcionales equivalentes a productos comerciales obtenidos por vías convencionales, representando una oportunidad para el desarrollo de productos sostenibles, con las favorables implicaciones ambientales, económica y sociales descritas previamente. Sin embargo, a la fecha, el enfoque no está completamente socializado, ni es aprovechado eficazmente para valorizar los residuos en beneficio de todos los actores de la cadena de valor.

Tabla 1. Producción 2022-2023 de los ingenios azucareros en San Luis Potosí

Ingenio	Municipio de SLP	Producción de caña a molida (t)	Productos alternos a la caña de azúcar
Ingenio Alianza Popular	Tambaca	93,765	Energía calorífica Melaza
Ingenio Plan de Ayala	Cd. Valles	92,042	Energía calorífica Melaza
Plan de San Luis	Cd. Valles	138,239	Energía calorífica
San Miguel del Naranjo	El Naranjo	184,260	Energía calorífica Azúcar glass

Referencia: Cámara Nacional de la Industria de Azúcar, CNIAA, 2022.

2.3 Relevancia económica de la caña de azúcar

En México, la caña de azúcar es un producto agrícola básico ya que es una de las materias primas más importantes para la industria agroalimentaria, a la par de ser un motor de desarrollo económico en zonas rurales y de tener el potencial para detonar exportación de numerosos productos derivados de la caña de azúcar (Infoagro, 2022; ATAM, 2021). De hecho, la caña de azúcar es uno de los 10 cultivos más consumidos por las familias mexicanas, que tiene un consumo per cápita promedio de 36.7 kg de azúcar/año y cuyo gasto en productos derivados de la caña de azúcar representa el 0.5 % de su gasto total en alimentos, bebidas y tabaco (SADER, 2018; Secretaría de Agricultura, 2022).

El impacto de la industria azucarera es la economía de México es muy significativo (Rebollar et al., 2017). En 2021, la SEDAR estimó que se cultivan más de 800,000 ha de caña de azúcar en 267 municipios de 15 Estados, que más de 170 mil productores agrícolas abastecen la operación de 49 ingenios azucareros

y que la cadena de valor genera un valor aproximado entre 40 y 50 mil millones de pesos (SEDAR, 2021). En el año 2021, la agroindustria de la caña de azúcar representó el 0.50 % del PIB nacional, aportó el 3.01 % de la industria manufacturera, participó con el 16.74 % del PIB en la industria alimentaria y representó el 6.21 % del PIB agropecuario (SADER, 2022).

Complementariamente, CONADESUCA reportó que en 2021 la agroindustria de la caña de azúcar generó, aproximadamente, 440 mil empleos directos y 2.2 millones de empleos indirectos. Un impacto económico similar fue documentado por la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, que estimó que en esta agroindustria involucra a 500,000 familias, 182,379 abastecedores de caña, 153,714 jornaleros, 69,971 cortadores, 31,318 transportistas, 34,916 trabajadores sindicalizados, 7,689 trabajadores de confianza y que hay 11,822 jubilados en el sector (SADER, 2018). En prospectiva, el potencial económico de la caña de azúcar puede ser aún mayor, si se considera que México ha ocupado el cuarto lugar de exportación de confitería a nivel internacional, con un 6 % aproximado del total mundial (SAGARPA, 2017). De acuerdo con los datos oficiales de la zafra 2020-2021, el 20 % de la azúcar producida se destinó al mercado internacional (CONADESUCA, 2022).

En 2022, en San Luis Potosí la actividad cañera generó 25,887,118 miles de pesos (SIAP, 2022), significándose como uno de los principales cultivos en el estado, haciendo notar que se considera necesario actualizar la tecnología utilizada en el cultivo, corte y transporte de la cañas de azúcar para mejorar los rendimientos y disminuir la contaminación generada en esta etapa de la cadena de valor (Castillo, 2021).

Por otra parte, es pertinente hacer notar que no se encuentran reportados los indicadores económicos de los micro-productores de caña de azúcar, quienes se encargan por sí mismos de cultivar, cosechar y procesar artesanalmente la caña de azúcar. Estos pequeños sistemas productivos son la base para la manutención de un importante número de familias y, por lo general, tienen precarias condiciones para llevar a cabo su actividad productiva y muy bajos ingresos económicos. En esta situación, es imperativo documentar las necesidades que prevalece en este tipo de agroindustrias familiares y gestionar los apoyos de programas públicos para implementar soluciones que resuelvan las problemáticas desde su origen, de forma que la actividad productiva de los micro-productores sea más estable, viable técnica y económicamente, con los beneficios económicos suficientes para dar un sustento digno a sus familias. De forma importante, los ingresos de los micro-productores dependen del proceso de comercialización de sus productos, preferentemente piloncillo, que está sujeto a un intermediarismo que en la mayoría de los ocasiones fija unilateral e injustamente los precios de venta. Esta situación ha prevalecido por décadas y representa para los micro-productores el principal reto por resolver.

2.4 Producción artesanal de piloncillo

La actividad productiva de un micro productor de caña de azúcar se caracteriza, en general, por tener acotadas áreas de cultivo en condiciones de temporal, un bajo o nulo empleo de agroquímicos, prácticas de campo y de procesamiento de caña manuales en las que participan todos los miembros de la familia y prácticamente si uso de tecnología convencional ya que el proceso de producción de piloncillo implica prácticas ancestrales que representan parte de su cultura, tradición e identidad. Este entorno, los micro productores usan la caña de azúcar para obtener los siguientes productos principales: Jugo de caña, Melaza, Pilon y Piloncillo granulado. Los principales subproductos en la unidad productiva artesanal es el bagazo que se genera en la molienda de la caña y que utilizan como combustible para obtener energía calorífica requerida para la producción de piloncillo.

El interés por coadyuvar a mejorar el bienestar de las familias que participan en estas pequeñas unidades agroindustriales de piloncillo artesanal motivó un estudio más detallado de las condiciones en las que los micro productores de la Huasteca Potosina llevan a cabo sus procesos, con el propósito de generar alternativas para el aprovechamiento de los residuos de la unidad productiva, como vector para diversificar los productos, mejorar la economía y crear mejores condiciones de bienestar, en un enfoque de desarrollo sostenible. En primer término, se realizaron visitas a diferentes comunidades del municipio de Tanlajás SLP para conocer el nivel de desarrollo de un conjunto de unidades productivas de piloncillo artesanal, así como identificar los retos en cada una de la etapas del proceso productivo. En general, el proceso de producción artesanal de piloncillo incluye las etapas distintivas esquematizadas en la Figura 1.

Características de los principales productos

Las características de los principales productos en sistema caña de azúcar – piloncillo se describen a continuación

a) Caña de azúcar

Entre las principales variedades que se cultiva en la zona de Tanlajás con la CP 72-2086 y la MEX 55-32. Para el estudio de validación de las técnicas analíticas se determinó utilizando la variedad MEX 55-32. Entre los parámetros más importantes que se determinan si la caña está a punto para ser procesada para la producción de piloncillo identifican la época de corte, la edad de la caña, el uso de fertilizantes, la soca, los rendimientos de producción de jugo y la concentración de los azúcares medidos a partir de los grados Brix (Solís, et al , 2006, Reyes-Hernández, et al., 2022).

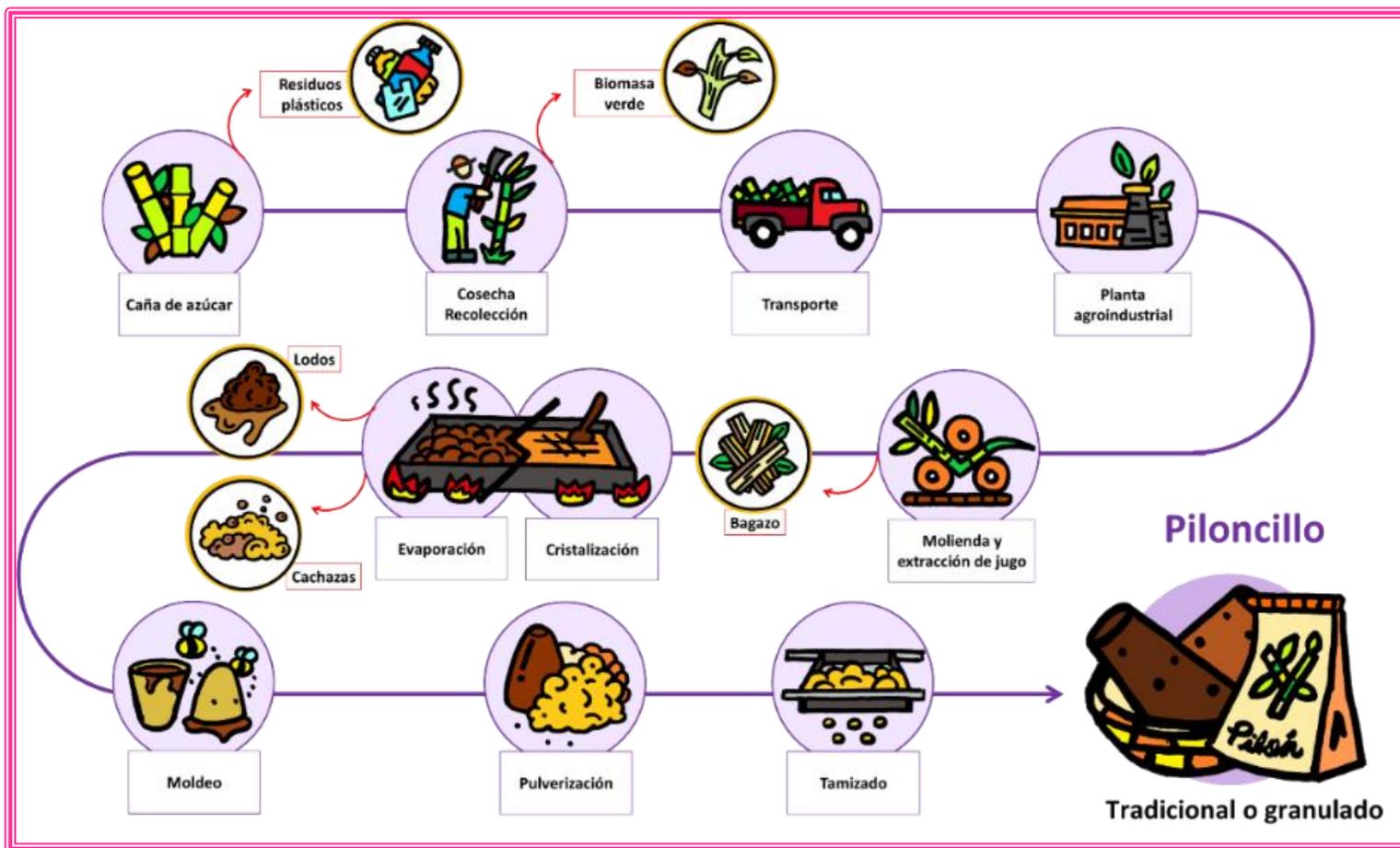


Figura 1. Esquema del proceso artesanal de producción de piloncillo en la región Huasteca

Fuente: Elaboración propia

b) Jugo de caña de azúcar

Un jugo de caña de buena calidad se caracteriza por contener más de 12.5% de sacarosa, de 18 a 22 grados Brix. El jugo de caña al ser principalmente sacarosa da un aporte calórico de 15.35 kJ/g, así mismo es libre de contenido fibroso y bajo contenido en proteína lo que se traduce a la fácil obtención de energía para el sistema (González et al., 2006, Solís-Fuentes et al., 2010). El jugo de caña de azúcar es rico en calcio, cromo, hierro, cobalto, cobre, fósforo magnesio, manganeso, potasio y zinc. Asimismo, contiene vitaminas A, C, B1, B2, B3, B5, B6 y una gran concentración de fitonutrientes y antioxidantes.

Debido a que la fermentación del jugo puede ocurrir a las condiciones climatológicas que por lo general prevalecen en la zona cañera, es recomendable que la extracción del jugo sea dentro de las 24 horas después del corte de caña y el procesamiento del jugo no más de 2 h después de la extracción. El rendimiento en el proceso de extracción del jugo depende de la variedad del cultivo, del ciclo de plantación, de la fecha de la cosecha y de la humedad o presencia de lluvia previo o durante el corte de la caña (Salgado-García et al., 2016, Reyes-Hernández, et al., 2022).

c) Melaza

La melaza es un primer producto que se obtiene durante la cocción del jugo de caña de azúcar. Durante la evaporación del agua, el jugo se va concentrando hasta alcanzar la consistencia de una miel semi-cristalizada. Su aspecto es similar al de la miel de abeja, aunque de color parduzco muy oscuro. El sabor de la melaza es dulce y agradable. Según los expertos, cuanto más oscura sea la melaza más sabor y nutrientes tendrá (Financiera Rural, 2011). La melaza contiene entre 70 a 80% de sacarosa, 2.5 a 4.5% de compuestos nitrogenados y aproximadamente, 0.4 a 1.5% de nitrógeno. El contenido de proteína cruda normalmente es bastante bajo (cerca del 3%) y variable, el contenido de ceniza varía de 8-10%, constituido principalmente por K, Mg, Ca, Cl y sales de azufre (Michel, 2009).

d) Piloncillo

Es el producto principal del proceso de evaporación de agua del jugo de caña de azúcar (Muñiz-Márquez et al., 2017, Reyes-Hernández, et al., 2022). El piloncillo tiene un alto contenido de azúcares y carbohidratos, además de aportar vitaminas y minerales.

e) Bagazo de caña de azúcar

Es el subproducto generado durante la extracción del jugo de caña en el molino conocido como trapiche. El bagazo exprimido puede contener solo una fracción marginal de jugo si la eficiencia de la extracción es alta. El bagazo de caña de azúcar es fuente de fibra insoluble, como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, además de dar un aporte de minerales. El bagazo de caña se somete a un proceso de secado natural por un espacio de 1 a 3 días, en función de las condiciones del clima. Una vez seco, el

bagazo es el principal combustible para el proceso de evaporación del jugo (Muñiz-Márquez et al., 2017). Por sus características, el bagazo también se puede utilizar para la fabricación de alimentos para ganado; de hecho, la literatura valida que las propiedades del bagazo son apropiadas alimento para rumiantes.

f) Cachaza

Es un residuo que se obtiene durante la clarificación del jugo de caña en la puntera que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Por lo general, se colecta de un 3 a 5 % de cachaza por tonelada de caña procesada; esta cantidad depende de la variedad de la caña, de las condiciones de cultivo y corte de la caña, de la extracción del jugo de caña y del procedimiento de clarificación. Físicamente, la cachaza es un coloide amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua y que exhibe un pH de 5.6. Químicamente, está es una mezcla de fibra de caña, sacarosa, coloides, coagulados, metales y partículas de suelo. Un análisis característico incluye: 40 % de materia orgánica, 1.76 % de Nitrógeno, 3.0 % de fósforo, 0.42 % de potasio, 3.15 % de óxido de calcio y 1.07 % de Magnesio (Gómez Prado & Jaramillo Coll, 2006).

Aplicaciones y potenciales beneficios de los productos alimenticios

La Tabla 2 incluye la composición química de los principales productos el sistema caña – piloncillo (jugo, melaza, pilón y piloncillo granulado) y el principal subproducto (bagazo de caña de azúcar). En general, la principal aplicación de estos productos es como alimento, ya sea para humanos o animales. La información de la Tabla 2 indica que los productos tienen diferentes fracciones de agua, azúcares, fibras, proteínas, minerales y vitaminas. La proporción de cada uno de estos se obtuvo de diversas publicaciones científicas e información disponible en internet. De acuerdo con la información disponible, el consumo regulado de jugo, melaza, pilón y piloncillo granulado tiene beneficios para la salud. Por esta razón, existe un creciente interés en el sector de alimentos para promover el consumo de estos productos y tomar ventajas de sus potenciales beneficios en la salud. Sin embargo, es conveniente indicar que el consumo de estos productos debe ser responsable, ya que por su contenido de azúcares un consumo en exceso puede inducir otros efectos que no son favorables para la salud. Con base a lo anterior, es conveniente identificar algunas alternativas para aprovechar y valorizar los productos y subproductos del sistema caña piloncillo de forma alternativa, en beneficio de otros sectores económicos y sociales. En el marco de esta obra se identifica que las aplicaciones alternativas de los productos del sistema caña – piloncillo se orienten en dos perspectivas:

- Que el productor diversifique los actuales productos de la unidad piloncillera artesanal.
- Que se valoricen los productos y subproductos sobre bases científicas, con un enfoque sostenible y promoviendo el desarrollo de biorrefinerías rurales.

Tabla 2. Composición química de los derivados de la caña de azúcar

Compuesto	Rango composición química			Posibles impactos beneficios en salud
	Jugo	Melaza /Pilón Piloncillo granulado	Bagazo	
AGUA (%)	75 – 85 ¹	1.5 – 10 ²	50 – 60 ¹	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hidratación. ○ Piel Saludable. ○ Propiedades diuréticas [6, 7].
AZÚCARES (%)	15 – 21 ¹	80 – 85 ¹	2 – 5 ¹	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aporte de energía. ○ Rendimiento del cuerpo. ○ Fuente de disfrute sensorial (sabor). [6, 7]
FIBRA (%)	<0.5 ¹	<0.1 ²	76 – 90 ³	<ul style="list-style-type: none"> ○ Salud Digestiva [7] ○ En el caso del bagazo no es recomendable para consumo humano.
COMPUESTOS FENÓLICOS (%)	~ 1.0 ⁴	0-4 – 0.6 ⁵	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acción Antioxidante ○ Inducen el metabolismo ○ Mantener nivel de energía [7].
FLAVONOIDEOS (%)	0.2 – 0.6 ⁴	0.2 – 0.4 ⁵	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Prevención de cáncer ○ Acción antioxidante [6, 7].
MINERALES (mg/100 g)	~ 180 ⁴	30 – 200 ²	50 – 300 ³	<ul style="list-style-type: none"> ○ Formación y mantenimiento de huesos. ○ Equilibrio de electrolitos [7].
PROTEÍNAS (%)	0.5 – 1.0 ⁴	0.5 – 1.7 ²	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Estructura y función corporal. ○ Producción de colágeno. ○ Efecto antioxidante. [6 y 7].
VITAMINAS mg/100 g	10 – 250 ⁴	15 – 200 ²	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mantener activo el metabolismo. ○ Fortalecer el sistema inmune [6, 7].
<p>[1] Savastrano et al., 2029 [2] Jaffé, W. R. (2015) [3] Haghdan et al., 2016 [4] Souza et al, 2018</p>			<p>[5] Alarcon et al., 2021 [6] Arif et al., 2019 [7] Chinnadurai,C (2017)</p>	

2.5 Alternativas para que el productor diversifique los productos

a) Identificación y validación de oportunidades

Para identificar y validar los retos y las oportunidades que existen en las comunidades piloncilleras de la Huasteca Potosina para la valorización de los subproductos y residuos del procesamiento artesanal de caña de azúcar, se realizó un diagnóstico en las comunidades del municipio de Tanlajás, SLP. El modelo de diagnóstico realizado integró tres líneas de acción en paralelo para recabar información de las comunidades de la zona de incidencia en diversos aspectos sociales, económicos, energéticos, ambientales y económicos. En una de las líneas de acción, a través de medios impresos y electrónicos, se obtuvo información documentada sobre el contexto, las problemáticas y las soluciones propuestas en las pasadas dos décadas para las comunidades piloncilleras del estado de San Luis Potosí, incluyendo:

- los planes de desarrollo de gobierno federal y estatal,
- los programas públicos de apoyo ofrecidos para el sector agrícola y en particular para el cañero
- las estadísticas que son la radiografía del progresiva evolución de los perfiles económicas y sociales los municipios y comunidades asociados a la actividad piloncillera,
- los reportes oficiales de las oficinas públicas estatales y municipales.

En otra línea de acción, se hicieron entrevistas con diversos actores de gobierno estatal y municipal, de sector productivo y de servicios, así como con organizaciones no gubernamentales que han otorgado apoyos para las comunidades piloncilleras. La integración de la información documentas en las dos líneas de acción descritas se procesó para construir un panorama integral de la situación prevaleciente en las comunidad piloncilleras.

En la tercera línea de acción, se hizo el análisis de los perfiles socioeconómicos de las comunidades de la zona de incidencia para identificar los retos y las oportunidades que externamente se perciben en las unidades productivas piloncilleras. En esta línea, se realizaron acciones en dos vertientes. En una de ellas, el canal de vinculación fue mediante pláticas y entrevistas directas con actores preponderantes de la localidad y la otra vertiente, que es la más relevante, fueron las diversas sesiones de trabajo con los micro productores y sus familias. En este caso, los medios para conocer sus realidades, sus necesidades, sus aspiraciones y visiones fueron multicanal, a través de la plática informal y de entrevistas personales más estructurada. Con el propósito de extender la cobertura del diagnóstico, el equipo de trabajo encontró que el WhatsApp un canal muy eficaz con los miembros de las comunidades y uso entonces esta vía para hacer encuestas para conocer las opiniones de productores, mujeres y jóvenes.

El análisis de todos la información antes descrita permitió identificar y validar el tipo de subproducto y residuos del procesamiento artesanal de caña de azúcar, así como de las estrategias para

valorizar los mismos en productos de interés para los productores y sus familias. Esta dinámica se hizo de forma interdisciplinaria incluyendo las diferentes dimensiones de la sostenibilidad. De forma relevante, las propuestas de incidencia para resolver los retos y oportunidades identificados fueron validados y jerarquizados por parte de los productores y sus familias, a través de pláticas y reuniones comunitarias sostenidos en diferentes localidades. De esta forma, se cuenta con el compromiso de los micro productores y sus familias en el futuro desarrollo de acciones de incidencia en beneficio de las unidades

El diagnóstico realizado por las comunidades piloncilleras en la zona de incidencia, validó colegiadamente la pertinencia de:

- Identificar, optimizar e implementar algunas opciones para el procesamiento alternativo de la caña de azúcar y de los residuos derivado de su procesamiento, que permitan generar productos de interés no solo para el sector de alimentos sino para otros sectores productivos.
- Identificar, adaptar y optimizar procesos de conversión de caña de azúcar y de sus residuos a nivel rural, en las condiciones que prevalecen en la zona de incidencia, desde un enfoque que promueva la sostenibilidad y que incorpore el uso de energías alternativas.
- Promover la comercialización de los productos por parte de las propias comunidades, para que se garantice que los beneficios económicos son para los productores y que esto se traduzca en bienestar para sus familias y comunidades.

b) Alternativas identificadas por los productores

De forma relevante, los micro productores validaron una serie de procesos simples para aprovechar los residuos de la caña de azúcar y los subproductos del proceso de producción artesanal del piloncillo. En la figura 2 se incluye un esquema de los procesos de valorización para cada residuo. La integración de estos procesos en el marco de un proceso integral en el cual se usan los residuos del sistema productivo caña – piloncillo como materia prima, se usa tecnología para optimizar los procesos y el uso de energía, se obtienen diversos productos de valor agregado y se minimiza la emisión de residuos y contaminantes al medio ambiente, se distingue como una “micro-biorrefinería rural”. En este contexto, la figura 1 describe entonces la micro-biorrefinería rural de los residuos de caña y piloncillo, identificada como una estrategia para promover desarrollo sostenible, operativamente enfocado a atender los dos grandes aspiraciones de las comunidades productoras de piloncillo artesanal en la Huasteca Potosina: diversificar sus productos artesanales para promover el desarrollo económico a partir de la comercialización directa de sus productos y, sobre todo, lograr una mejor calidad de vida para sus familias y comunidades.

La figura 2 distingue las siguientes alternativas para diversificar y/o valorizar los subproducto y residuos en el sistema productivo caña de azúcar - piloncillo.

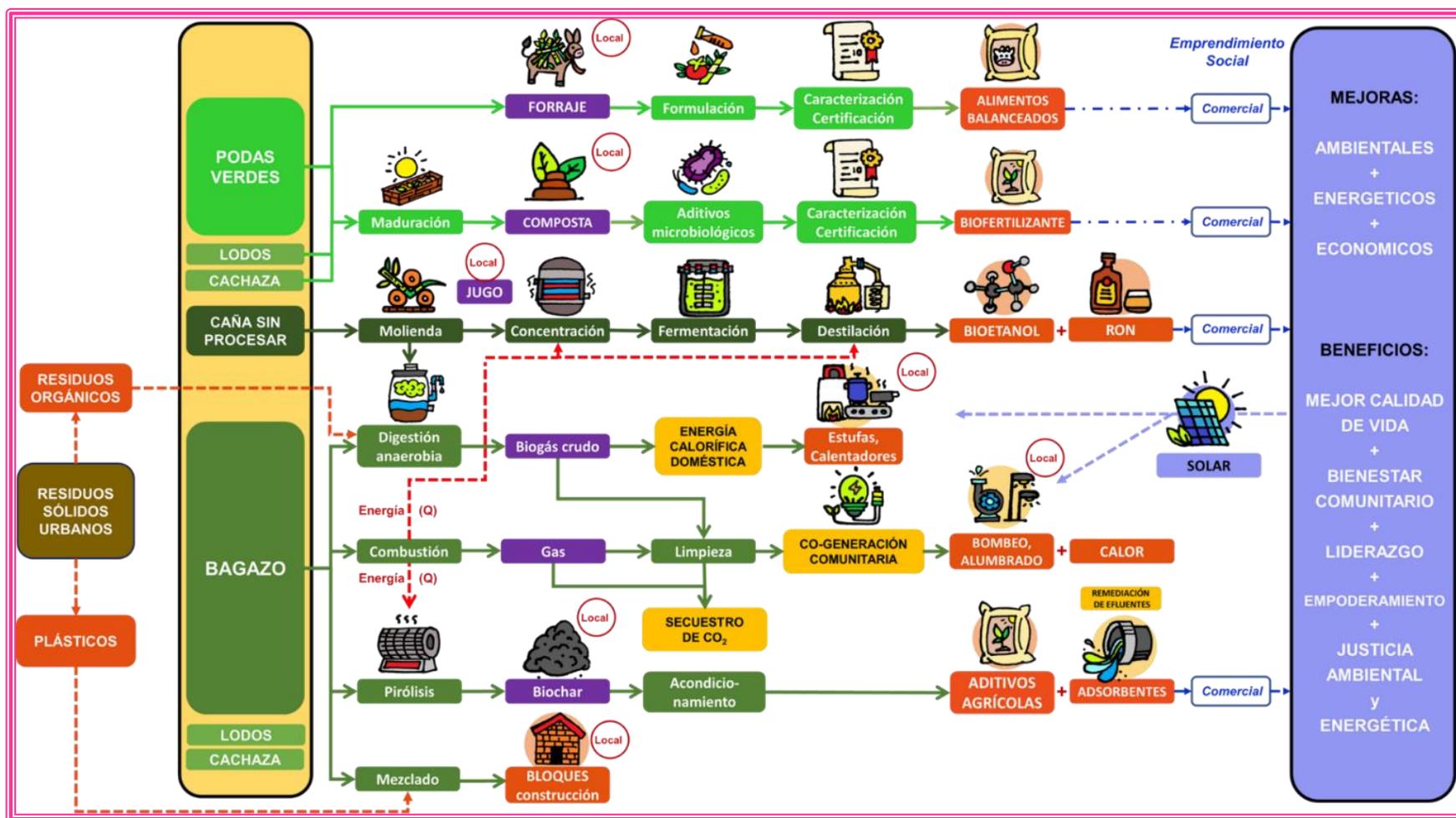


Figura 2. Esquema de una micro- biorrefinería rural.

Estrategia derivada del diagnóstico comunitario entre las comunidades Tének que produce piloncillo artesanal en la Huasteca Potosina

Fuente: Sánchez y col, 2022

1) *Uso de las podas verdes para alimento para animales*

Las podas verdes constituyen una importante cantidad de desperdicio que en conjunto con la poca cantidad de cachaza y lodos se pueden destinar de forma directa al forraje. Sin embargo, es posible brindar de una formulación y certificación a este forraje para transformarlo en un alimento balanceado de mayor valor y calidad.

2) *Uso de las podas verdes y bagazo para fertilizantes*

Las podas verdes se pueden someter a un proceso de maduración que permita obtener una composta que puede utilizar directamente, o servir como base de un proceso de formulación con aditivos microbiológicos, que se puede validar y certificar como un biofertilizante. Por otra parte, al someter los residuos (bagazo) a altas temperaturas permite utilizar las cenizas como fertilizante, ya sea aplicando de manera directa al suelo o de forma foliar en cultivos hortícolas.

3) *Uso del bagazo en energía calorífica*

Este proceso está ya implementado por los productores, quienes llevan a cabo la combustión directa del bagazo seco para obtener la energía calorífica en la producción de piloncillo.

4) *Uso del bagazo en otras fuentes de energía*

El bagazo abre otra serie de alternativas de aplicación por sus características y mayor abundancia. Una primera opción es usar el bagazo, acoplado o no al uso de residuos orgánicos de la comunidad, en proceso de digestión anaerobia para producir biogás, el cual puede ser utilizado directamente en estufas o calentadores o bien, ser sometido a un proceso más riguroso de limpieza para poder transformar el biogás en un sistema de cogeneración de energía en energía eléctrica y calorífica, que podría dar servicio a la comunidad a través de iluminación pública o servicios asociados al sistema productivo.

5) *Uso del bagazo en otros productos de interés comercial*

Los productores de la zona de incidencia desean utilizar el bagazo, acoplado o no a otros residuos municipales (como plásticos), para producir bloques de construcción. Alternativamente, el bagazo se puede someter a un tratamiento de pirólisis y generar de forma selectiva una fracción sólida denominada biochar (carbón vegetal), la cual se puede acondicionar para utilizarse como adsorbente o aditivo agrícola.

2.6 Alternativas complementarias para valorizar los productos

El diagnóstico realizado inicialmente en las unidades piloncilleras permitió identificar las necesidades y demandas expuestas directamente por los productores. Con el tiempo y el trabajo en campo con los productores, se han identificado nuevas opciones, algunas de las cuales pueden ser implementadas por los productores en la misma unidad productiva y otras que demandan desarrollo tecnológico.

Es importante enfatizar que estas estrategias tecnológicas deben estar completamente acopladas a aspectos sociales, que garanticen que los beneficios se traduzcan en bienestar de las comunidades. En la Tabla 3 se incluyen una serie de procesos simples para optimizar en la unidad productiva o con en el esquema del desarrollo de nuevos procesos o productos.

1. Aplicaciones de la caña de azúcar

Si la extracción de jugo en campo ocurre de forma higiénica, el productor puede usar el jugo para la venta directa como bebida refrescante. Complementariamente, se pueden desarrollar procesos para usar unidades móviles de extracción y venta de jugo, así como para embotellar el producto como opción para garantizar su estabilidad y enviarlo a otros mercados.

2. Aplicaciones del piloncillo

Los productos comercialización ahora son el piloncillo y los dulces de piloncillo usando nuevos enfoques de emprendimiento social. Este enfoque se propone extender a otros productos como pan, mole, adobos, conservación de frutas, entre otros. En enfoques híbridos, en los que se propicia el intercambio de saberes entre los productores y la academia, se visualiza ahora la oportunidad de extender la función de la unidad productiva para elaborar ron. De concretarse, este enfoque puede ser el primer paso práctico para el desarrollo de una biorrefinería rural para los productores piloncilleros.

3. Aplicaciones del bagazo

Una primera opción es usar el bagazo en la unidad productiva es como combustible en el horno; esta convencional aplicación se puede extender para generar carbón vegetal. Sin embargo, como ejemplo, el bagazo se puede someter a un tratamiento de pirólisis y generar una fracción sólida equivalente, a la que se le pueden ajustar sus propiedades para generar productos de alto valor agregado con aplicaciones en la industria farmacéutica de cosméticos y de alimentos.

2.7 Enfoque integral de análisis

En el marco de los resultados de la sección previas, resulta evidente la pertinencia de caracterizar las materias primas y los productos implicados en la cadena productiva que son alternativas de valor para el productor sobre los cuales se puede establecer el desarrollo y bienestar de las comunidades. La figura 3 incluye el esquema de la secuencia de análisis que permite una caracterización integral del sistema caña – piloncillo que incluye técnicas físicas, químicas, microbiológicas, bromatológicas y térmicas.

Tabla 3. Aplicación primaria y secundaria de la caña y del jugo de caña de azúcar

COMUNIDADES PILONCILLERAS TÉNEK DE LA HUASTECA POTOSINA



CAÑA DE AZÚCAR



Aplicación primaria por el PRODUCTOR

Aplicación secundaria por equipo técnico

- Como dulce (mastigar la fibra).
- Preparación de Tés, ponches, etc.
- Extraer el jugo de caña
- Decoración.

- Venta de dulces
- Bebidas embotelladas.
- Extractor móvil para la venta de jugo de caña.

JUGO



- Consumo directo
- Limonadas.
- Batidos con otras frutas.
- Preparación de cocteles.
- Producción de piloncillo.
- Producción de ron.

- Bebidas embotelladas.
- Producción de etanol.
- Producción de otros productos químicos: ácido acético

Tabla 3 (Cont.) Aplicación primaria y secundaria del piloncillo y del bagazo

COMUNIDADES PILONCILLERAS TÉNEK DE LA HUASTECA POTOSINA



PILONCILLO

Cono / Granulado



- Endulzante para café.
- Bebidas Tradicionales.
- Preparación de platillos regionales: Dulces, Postres, Pan, Mole, Salsas y adobos.
- Conservación de Frutas.
- Preparación de ron.

- Endulzante para bebidas.
- Fabricación y Comercialización de productos: bebidas, dulces, postres, yogurt, etc.
- Producción de etanol.

BAGAZO



- Alimento para ganado.
- Preparación de fertilizantes.
- Carbón vegetal.
- Aglomerante para construcción.
- Fuente de energía calorífica.

- Alimentos balanceados.
- Aditivos orgánicos certificados.
- Producción de Biochar y de productos químicos
- Fuente de energía eléctrica.

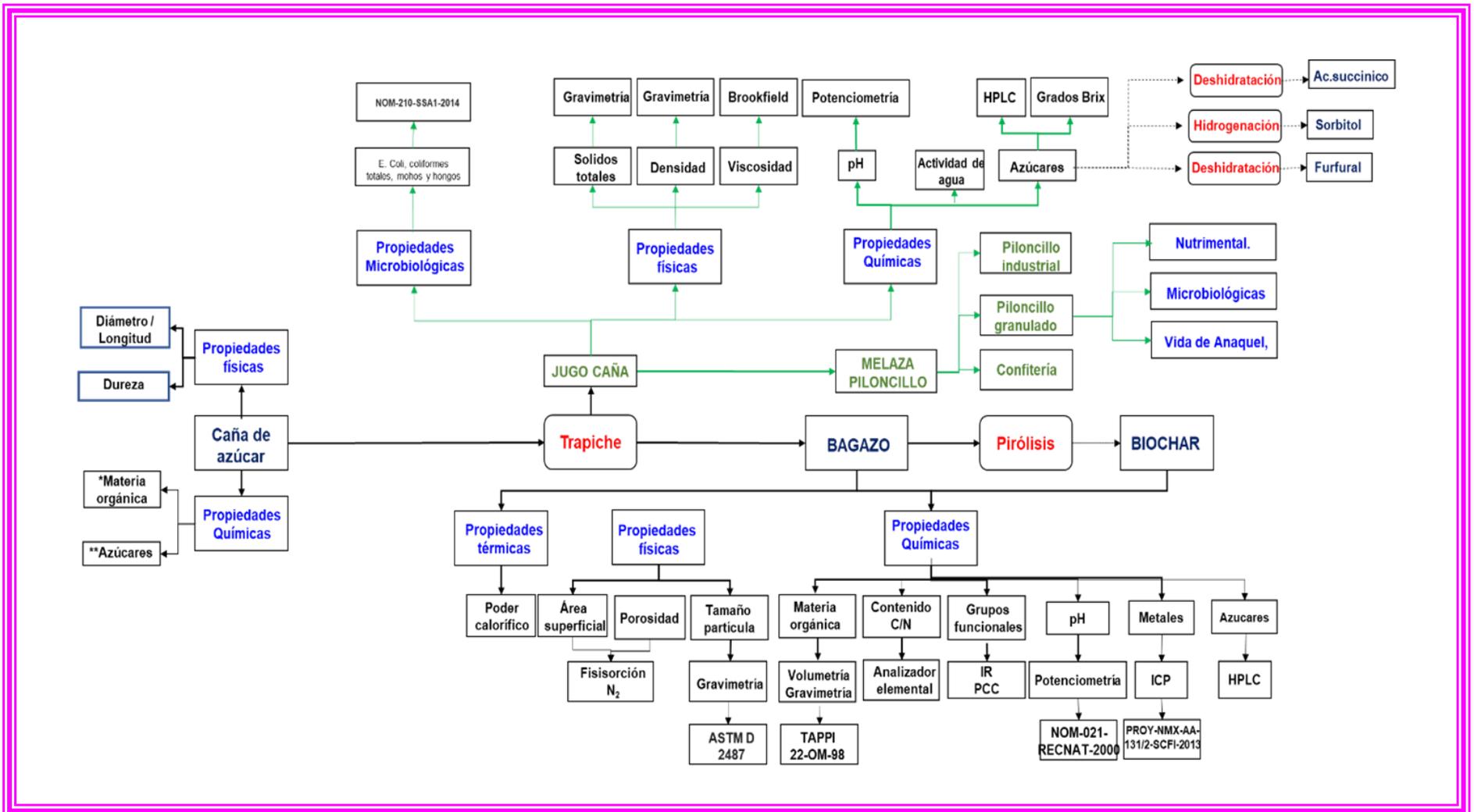


Figura 3. Diagrama de análisis de los productos del sistema caña de azúcar - piloncillo

Fuente: Sánchez Castillo y col., 2022

2.8 Potencial beneficio de las caracterizaciones para los productores

Los beneficios de las técnicas de caracterización para los productores se ejemplifican en las siguientes tablas:

- Tabla 4: técnicas físicas para la caracterización de la caña de azúcar.
- Tabla 5: técnicas físicas, químicas y microbiológicas para la caracterización del jugo de la caña de azúcar.
- Tabla 6: técnicas físicas, químicas, microbiológicas y bromatológicas para la caracterización del piloncillo. Estas técnicas permiten cumplir con la normativa mexicana que valida la calidad e higiene del producto y por lo tanto favorece la comercialización del producto.
- Tabla 7: técnicas físicas, químicas y térmicas para la caracterización del bagazo de caña de azúcar. Estas técnicas permiten encontrar aplicaciones alternativas para el uso del bagazo de caña de azúcar.

De forma general, los beneficios para el productor se traducen en:

- El aprovechamiento integral del sistema caña – piloncillo, para obtener los mayores rendimientos en producción de jugo de caña y piloncillo.
- La identificación de áreas de oportunidad para la optimización de los actuales procesos de producción artesanal de piloncillo.
- La implementación de sistemas de higiene y calidad para mejorar el piloncillo y facilitar su comercialización a mayor costo.
- Busca minimizar costos y tiempos en el proceso de producción del piloncillo, lo que beneficia y da mayor comodidad al productor.

Tabla 4. Técnicas de caracterización de la CAÑA DE AZÚCAR (Enfoque Primario)

Etapa de corte de la caña de azúcar

Propiedades Físicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA 	<ul style="list-style-type: none"> • Variedad de la caña. • Edad al corte. • Madurez. • Rendimiento de concentración de azúcar • Agua de riego requerida • Atención oportuna de enfermedades y plagas. • Limpieza y separación de la caña que pueda estar dañada.
<ul style="list-style-type: none"> • DIMENSIONAMIENTO: LONGITUD DE LA CAÑA 	<ul style="list-style-type: none"> • Madurez de la caña. • En su caso, efecto de: <ul style="list-style-type: none"> ○ Factores climatológicos. ○ Uso de fertilizante orgánico.
<ul style="list-style-type: none"> • DIMENSIONAMIENTO: DIÁMETRO DE LA CAÑA 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar la distancia de los rodillos del trapiche: rendimiento de extracción de jugo.

Etapa de Molienda de la caña de azúcar

Propiedades Físicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • PESO DE LOTE DE CAÑA DE AZÚCAR 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de la cantidad de caña a procesar. • Rendimiento de producción de jugo de caña. • Rendimiento de producción de piloncillo. • Estimación de costos de producción.
<ul style="list-style-type: none"> • PESO DE JUGO DE CAÑA DE COLECTADO. 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación con el rendimiento de producción de jugo de caña y la producción de piloncillo. • Estimación de costos de producción.
<ul style="list-style-type: none"> • PESO DE BAGAZO Y FIBRAS RESIDUALES. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de bagazo generado en el proceso: <ul style="list-style-type: none"> ○ Disponibilidad de combustible para el horno. ○ Búsqueda de aplicaciones alternativas para el bagazo.

Tabla 5. Técnicas de caracterización del JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR (Enfoque Primario)

Propiedades Físicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • DENSIDAD 	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de contaminantes físicos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Piedras, tierra, insectos, fibras, etc. • Punto de referencia: <ul style="list-style-type: none"> ○ La densidad se modifica en función del tiempo y aumento de la temperatura. ○ Concentración de sacarosa
Propiedades Químicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • DETERMINACIÓN DE AZÚCARES POR HPLC 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación entre producción de piloncillo y concentración de sacarosa.
<ul style="list-style-type: none"> • pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificar la adición de cal para neutralizar el jugo de caña. • Facilitar la precipitación de sólidos suspendidos.
<ul style="list-style-type: none"> • GRADOS BRIX 	<ul style="list-style-type: none"> • Correlacionar la concentración de azúcar con: <ul style="list-style-type: none"> ○ Madurez de la caña. ○ Estación de corte ○ Factores climatológicos: lluvia o sequía. • Relación entre producción de piloncillo y concentración de sacarosa
Propiedades microbiológicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • BACTERIAS, MOHOS Y LEVADURAS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicación del grado de descomposición del jugo. • Mejorar la higiene en el proceso de extracción.

Tabla 6. Técnicas de caracterización del PILONCILLO (Enfoque Primario)

Propiedades Físicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • HUMEDAD 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar condiciones de operación: <ul style="list-style-type: none"> ○ Punto: piloncillo. ○ Formación de boronas. ○ Conservación del producto terminado
<ul style="list-style-type: none"> • DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRANULOMETRÍA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar condiciones de operación: <ul style="list-style-type: none"> ○ Formación de boronas. ○ Molienda y tamizado. ○ Solubilidad del piloncillo.

Propiedades Químicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Adición de cal para neutralizar el jugo de caña.
<ul style="list-style-type: none"> • GRADOS BRIX 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración final de sacarosa en el piloncillo
<ul style="list-style-type: none"> • CONTENIDO DE AZÚCARES TOTALES 	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades y calidad del piloncillo. • Etiqueta de producto. • Comercialización
<ul style="list-style-type: none"> • ACTIVIDAD DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación del producto terminado: evitar propagación cultivos microbianos. • Sistema de envasado y almacenaje adecuado.
<ul style="list-style-type: none"> • CONTENIDO DE METALES 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del piloncillo. • Etiqueta de producto.

Propiedades microbiológicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • BACTERIAS, MOHOS Y LEVADURAS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicación del grado de descomposición del piloncillo. • Mejorar la higiene en el proceso de producción.

Propiedades bromatológicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • AZÚCARES REDUCTORES 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de piloncillo. • Información de la etiqueta del producto. • Beneficios en salud del consumo de piloncillo. • Promover la comercialización.
<ul style="list-style-type: none"> • CARBOHIDRATOS TOTALES 	
<ul style="list-style-type: none"> • DETERMINACIÓN DE GRASAS 	
<ul style="list-style-type: none"> • DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA 	
<ul style="list-style-type: none"> • VIDA DE ANAQUEL 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el tiempo de conservación de propiedades físicas y químicas del piloncillo. • Fecha de consumo preferente. • Etiqueta de producto.

Tabla 7. Técnicas de caracterización del BAGAZO DE CAÑA (Enfoque Primario)

Propiedades Químicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • DETERMINACIÓN DE EXTRAÍBLES, HEMICELULOSA, CELULOSA Y LIGNINA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de la aplicación de bagazo de caña: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fertilizante orgánico. ○ Obtención de productos químicos como aditivos alimentarios. ○ Biochar (carbón vegetal).
Propiedades térmicas	Aplicaciones para el productor:
<ul style="list-style-type: none"> • CALORIMETRÍA 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de la cantidad de bagazo y tiempo de cocción del jugo. • Optimización del uso de bagazo como combustible.
<ul style="list-style-type: none"> • DESORCIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de la aplicación de bagazo de caña: <ul style="list-style-type: none"> ○ Biochar

2.9 Potencial beneficio de las caracterizaciones para desarrollo tecnológico

Los beneficios de las técnicas de caracterización para los grupos de investigación y desarrollo tecnológico se ejemplifican en las siguientes tablas:

- Tabla 8: técnicas físicas para la caracterización de la caña de azúcar.
- Tabla 9: técnicas físicas, químicas y microbiológicas para la caracterización del jugo de la caña de azúcar.
- Tabla 10: técnicas físicas, químicas, microbiológicas y bromatológicas para la caracterización del piloncillo.
- Tabla 11: técnicas físicas, químicas y térmicas para la caracterización del bagazo de caña de azúcar.

De forma general, los beneficios para los grupos de investigación y desarrollo tecnológico se traducen en:

- Entender desde un proceso fundamental y técnico la elaboración artesanal de piloncillo, para dar opciones de mejora al productor, desde una perspectiva fácil de entender e implementar.
- La sensibilización de los aspectos sociales que conllevan el rezago tecnológico de la zona de incidencia.
- El desarrollo de nuevos procesos y productos para diversificar las aplicaciones de los productos y residuos típicamente obtenidos.
- Valorizar de manera integral todo el sistema caña – piloncillo.
- La identificación de áreas de oportunidad para la optimización de los actuales procesos de producción artesanal de piloncillo.

Tabla 8. Técnicas de caracterización de la CAÑA DE AZÚCAR (Enfoque Secundario)

Etapa de Corte de la caña de azúcar

Propiedades Físicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA 	<ul style="list-style-type: none"> Variedad de la caña. Edad al corte. Madurez. Rendimiento de concentración de azúcar Agua de riego requerida Atención oportuna de enfermedades y plagas. Limpieza y separación de la caña que pueda estar dañada,
<ul style="list-style-type: none"> DIMENSIONAMIENTO: LONGITUD DE LA CAÑA 	<ul style="list-style-type: none"> Madurez de la caña. Atención oportuna de enfermedades y plagas. <ul style="list-style-type: none"> Detección de enfermedades y plagas.
<ul style="list-style-type: none"> DIMENSIONAMIENTO: DIÁMETRO DE LA CAÑA 	<ul style="list-style-type: none"> Ajustar la distancia de los rodillos del trapiche: rendimiento de extracción de jugo

Etapa de Molienda de la caña de azúcar

Propiedades Físicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> PESO DE LOTE DE CAÑA DE AZÚCAR. PESO DE JUGO DE CAÑA DE COLECTADO. PESO DE BAGAZO Y FIBRAS RESIDUALES. 	<ul style="list-style-type: none"> Balance de materia: <ul style="list-style-type: none"> Relación de la cantidad de caña a procesar. Rendimiento de producción de jugo de caña. Rendimiento de producción de piloncillo. Estimación de costos de producción.

Tabla 9. Técnicas de caracterización del JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR (Enfoque Secundario)

Propiedades Físicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> DENSIDAD 	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de contaminantes físicos (piedras, tierra, partes de insectos, etc). Relación con la concentración de sacarosa. Balance de materia. Punto de referencia: <ul style="list-style-type: none"> La densidad se modifica en función del tiempo y aumento de la temperatura. Concentración de sacarosa
Propiedades Químicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> DETERMINACIÓN DE AZÚCARES POR HPLC 	<ul style="list-style-type: none"> Determinación de concentración: <ul style="list-style-type: none"> Sacarosa Glucosa Fructuosa.
<ul style="list-style-type: none"> pH 	<ul style="list-style-type: none"> Adición de cal para neutralizar el jugo de caña. Facilitar la precipitación de sólidos suspendidos.
<ul style="list-style-type: none"> GRADOS BRIX 	<ul style="list-style-type: none"> Madurez de la caña. Estación de corte Factores climatológicos: lluvia o sequía. Relación entre producción de piloncillo y concentración de sacarosa Relación con sólidos totales: cantidad de agua a evaporar. Balance de Materia y Energía
Propiedades Microbiológicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico:
BACTERIAS, MOHOS Y LEVADURAS.	<ul style="list-style-type: none"> Indicación del grado de descomposición del jugo. Mejorar la higiene en el proceso de extracción. Identificación de agentes patógenos e indicadores. <ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de buenas prácticas de higiene.

Tabla 10. Técnicas de caracterización del PILONCILLO (Enfoque Secundario)

Propiedades Físicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> HUMEDAD 	<ul style="list-style-type: none"> • Punto: piloncillo. • Formación de boronas. • Conservación del producto terminado • Molienda y tamizado. • Cumplimiento de normativa mexicana • Mejorar condiciones de operación: <ul style="list-style-type: none"> ○ Punto: piloncillo. ○ Formación de boronas. ○ Conservación del producto terminado
<ul style="list-style-type: none"> DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRANULOMETRÍA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar condiciones de operación: <ul style="list-style-type: none"> ○ Formación de boronas. ○ Molienda y tamizado. ○ Solubilidad del piloncillo.
Propiedades Químicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir estándar marcado para piloncillo: 6.5 – 7.0. • Evitar propagación de cultivos de microorganismos, hongos levaduras, etc.
<ul style="list-style-type: none"> GRADOS BRIX 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración final de sacarosa en el piloncillo. • Calidad del piloncillo.
<ul style="list-style-type: none"> CONTENIDO DE AZÚCARES TOTALES 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de azúcares reductores y no reductores: <ul style="list-style-type: none"> ○ Glucosa ○ Fructuosa ○ Sacarosa • Verificar que no se tengan azúcares añadidos.
<ul style="list-style-type: none"> ACTIVIDAD DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de envasado y almacenaje adecuado. <ul style="list-style-type: none"> ○ Conservación del producto terminado. • Evitar propagación cultivos microbianos.
<ul style="list-style-type: none"> CONTENIDO DE METALES 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del piloncillo. • Etiqueta de producto. • Comercialización • Cumplimiento de parámetros de la norma mexicana. • Determinar la aportación nutrimental de metales.

Tabla 10 (Cont.) Técnicas de caracterización del PILONCILLO (Enfoque Secundario)

Propiedades microbiológicas	Aplicaciones en el desarrollo tecnológico:
<ul style="list-style-type: none"> BACTERIAS, MOHOS Y LEVADURAS. 	<ul style="list-style-type: none"> Indicación del grado de descomposición del piloncillo. Mejorar la higiene en el proceso de producción. Identificación de agentes patógenos e indicadores. Desarrollo de buenas prácticas de higiene

Propiedades bromatológicas	Aplicaciones en el desarrollo tecnológico:
<ul style="list-style-type: none"> AZÚCARES REDUCTORES 	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de azúcares: <ul style="list-style-type: none"> Glucosa y Fructuosa Etiqueta de producto. Comercialización
<ul style="list-style-type: none"> CARBOHIDRATOS TOTALES 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el contenido energético. Aporte nutrimental. Etiqueta de producto. Comercialización
<ul style="list-style-type: none"> DETERMINACIÓN DE GRASAS 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar la presencia de grasa. Aporte nutrimental. Etiqueta de producto. Comercialización
<ul style="list-style-type: none"> DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el valor proteico. Etiqueta de producto. Comercialización
<ul style="list-style-type: none"> VIDA DE ANAQUEL 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el tiempo de conservación de piloncillo: <ul style="list-style-type: none"> Físicas y químicas. Fecha de consumo preferente. Etiqueta de producto. Comercialización

Tabla 11. Técnicas de caracterización del BAGAZO DE LA CAÑA (Enfoque Secundario)

Propiedades Químicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico:
<ul style="list-style-type: none"> • DETERMINACIÓN DE EXTRAÍBLES, HEMICELULOSA, CELULOSA Y LIGNINA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de la aplicación de bagazo de caña: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fertilizante orgánico. ○ Obtención de productos químicos como aditivos alimentarios. ○ Biochar (carbón vegetal).
Propiedades térmicas	Aplicaciones en desarrollo tecnológico:
<ul style="list-style-type: none"> • CALORIMETRÍA 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de la cantidad de bagazo y tiempo de cocción del jugo. • Optimización del uso de bagazo como combustible. • Poder calorífico del bagazo • Balance de materia y energía: <ul style="list-style-type: none"> ○ Rendimiento energético.
<ul style="list-style-type: none"> • DESORCIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de la aplicación de bagazo de caña: <ul style="list-style-type: none"> ○ Biochar. • Pellets para uso doméstico e industrial.

3 COLECCIÓN DE MUESTRAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO CAÑA-PILONCILLO

3.1 Características de la región piloncillera de Tanlajás SLP

Las unidades productoras de piloncillo artesanal visitadas en Tanlajás SLP se localizan al este del estado de San Luis Potosí, en la zona que se conoce como la Huasteca Potosina la cual está conformada por 20 municipios, de los cuales 18 de estos municipios son el hogar de la cultura Tének. La base económica es el cultivo de la caña de azúcar para la elaboración de piloncillo y la siembra de maíz para el autoconsumo. De acuerdo con los datos de la Representación AGRICULTURA en San Luis Potosí, en la Huasteca Potosina laboran alrededor de 5 mil micro-productores de caña de azúcar, preferentemente en los municipios de Coxcatlán, San Antonio, Tanlajás, Tancanhuitz y Tampamolón, que reúnen el 55% de la producción total del Estado. De forma relevante, estos municipios se distinguen por generar el mayor volumen de producción artesanal de piloncillo en el país, estimado en 2020 en alrededor de 192 mil toneladas (Agricultura, S.L.P, 2020).

En la zona piloncillera referida predomina el clima cálido subhúmedo; al sur de la región se tiene un clima semi cálido húmedo. En general, la temperatura media anual de 25°C, con una mínima 7°C y una máxima absoluta de 44°C. Su precipitación pluvial es de 2,488 mm. como promedio anual (Monografías de los Municipios de México, San Luis Potosí, 2012). El orografía de estos municipios incluye montañas, estribaciones de la Sierra Madre Oriental y una planicie costera. Sus diversas sierras alcanzan aproximadamente los 260 metros sobre el nivel del mar y se localizan adyacentes a la población principal y al noreste. La vegetación es abundante, la región es muy húmeda y, en consecuencia, se generan hongos comestibles. Así mismo, se encuentran manchones considerables de pastizal cultivado como: guinea, estrella africana, pangola y buffel. Otros cultivos distintivos en las comunidades del municipio incluyen frijol, maíz, naranja, caña de azúcar y café (Agricultura, S.L.P, 2020).



Figura 4. Paisaje y cultivo de caña en Tanlajás, SLP

Fuente: imagen propia

3.2 Variedad de la caña de azúcar

De acuerdo con el paquete tecnológico del INIFAP (2013), las variedades recomendadas bajo condiciones de temporal para el estado de San Luis Potosí son las siguientes (Tabla 12).

Entre las principales variedades que se cultiva en la zona de Tanlajás con la CP 72-2086 y la MEX 55-32. Para el estudio de validación de las técnicas analíticas se determinó utilizando la variedad MEX 55-32. El crecimiento de la variedad Mex-55-32 es por lo general de 2.5 a 3 m. En temporadas con nivel de lluvia adecuado la caña puede alcanzar entre 4 y 5 m. Desde hace como 4 años, se fija siempre en la “consistencia” de la caña y monitorea la dureza, el color y el grosor de las cañas de azúcar; como referencia, indica que el diámetro de las cañas en su terreno varía de 2.5 a 4 cm. De acuerdo con la literatura (SAGARPA, 2013), esta variedad tiene como características relevantes el buen desarrollo respecto a crecimiento, buena germinación y buen amacollo. Tiene un crecimiento inicial inclinado y lento y posteriormente cambia, generando cañas erectas con escasa floración, madurez media con buen contenido de sacaros; tiene un contenido medio de fibra y alta pureza en sus jugos. Esta variedad se acama por la acción de los vientos fuertes, alto rendimiento en campo y es de buen soqueo. Moderadamente resistente al carbón, y es tolerante a la roya, mancha de ojo, raya roja y también al ataque de barrenador y pulgón amarillo. De acuerdo con la experiencia de los productores, la elección de la variedad de caña de azúcar Mex 55-32 sobre otras disponibles en la región, es por su mayor resistencia a la sequía (Sanchez y col, 2021).

3.3 Condiciones de cultivo de caña

La zona de cultivo de caña en Tanlajás, SLP es muy calurosa y con alta humedad a lo largo del año. De hecho, la temperatura promedio es alrededor de 25 C, con una mínima de 7 C y una máxima de 44 C. La humedad oscila entre 80 y 90 %. Estas condiciones son preferentes para el cultivo de caña de azúcar. El cultivo de caña de azúcar en la región Huasteca generalmente es de riego por temporal y el periodo de crecimiento de la caña es dependiente, entre otros factores, de la variedad de la caña y del ciclo de lluvia en la región. Tradicionalmente, la lluvia ocurre en la zona en mayo, aunque se ha vuelto escaso; en la actualidad, el ciclo de lluvia más fuerte se presenta en agosto-septiembre, que asocian a la salida de los huracanes. Este ciclo de lluvia repercute en el crecimiento de la caña de azúcar y en la madurez de esta y, a su vez, esto repercute en las temporadas en las que se presenta la condición preferente para la cosecha. En la experiencia de los productores, se indica que, por lo general, la caña está lista para el corte entre 9 y 12 meses, esperando que la caña este en su mejor momento de maduración. Se ha logrado distribuir su cultivo de forma que tenga suficiente cantidad de caña para operar su trapiche la mayor parte del año.

Tabla 12. Variedades de caña de azúcar en San Luis Potosí

VARIEDAD	CARACTERÍSTICAS	
Mex 79-431	Morfología	Tallo de mediano a grueso de color verde cremoso cuando tiene vaina y verde amarillento expuesto al sol, con presencia de cera; entrenudos de forma cilíndrica en zig-zag; vaina verde con morado en la base, abundante cera blanca y ausencia de ahuates; buena generación y amacollamiento.
	Sacarosa	En Caña 13.8%, Soca 14.1%
	Ciclo	Medio
	Floración	De escasa a regular (mayores porcentajes en altitudes medias)
	Resistencia	Buena apariencia agronómica aun en condiciones de sequía
	Susceptibilidad	Con alta humedad ambiental hay riesgo de enfermedades como mancha de ojo y sistemas de mosaico, que se elimina con un buen manejo.
	Rendimiento	Planta: 193 ton; Soca: 173 ton
Co. 997	Morfología	Tallo color verde con ligera tonalidad amarillenta, con tintes violáceo expuesto al sol, de crecimiento entre nudos de 2 a 2.5 cm de diámetro; vaina de color verde y escaso ahuate; amacollamiento temprano y buen desarrollo; raíz abundante y profunda; buena soqueadora
	Sacarosa	13.8%, buena pureza y 15.1% de fibra
	Ciclo	Medio
	Floración	Nula
	Resistencia	Al quiebre de tallo provocado por vientos fuertes, mosaico, roya y carbón; tolera a raya roja y Pokkah-Boeng y al ataque del barrenador
	Susceptibilidad	Al acame, sequía, herbicidas derivados de 2-4, D
	Rendimiento	Planta: 110 ton; Soca y resoca: 80 ton
Mex 68-P-23	Morfología	Crecimiento erecto, tallo amarillo verdoso, grosor medio; buena germinación y amacollo rápido; despaja fácilmente
	Sacarosa	15%, 85% de pureza en jugo y 12.3% en fibra
	Ciclo	Temprano a Medio
	Floración	Nula
	Resistencia	A la mosquita pinta, chinche de encaje, peca amarilla, roya y carbón
	Susceptibilidad	Mancha de anillo
	Rendimiento	Planta 125 ton, soca y resoca 85 ton

Tabla 12 (Continuación) Variedades de caña de azúcar en San Luis Potosí

VARIEDAD	CARACTERÍSTICAS	
Mex 68-1345	Morfología	Tallo color morado, entrenudos cilíndricos de 2 a 2.5 cm de diámetro
	Sacarosa	15%, fibra 14%
	Ciclo	Medio
	Floración	Profusa
	Resistencia	Tolera períodos largos de sequía
	Susceptibilidad	Acame por acción de vientos fuertes
	Rendimiento	
Z Mex 55-32	Morfología	Caña con buen desarrollo, germinación y amacollo; crecimiento inicial inclinado y lento, que cambia por cañas erectas; tallos de diámetro medio de color morado verdoso y abundante follaje
	Sacarosa	
	Ciclo	Medio
	Floración	Escasa
	Resistencia	Al carbón, tolerancia a la roya, mancha de ojo, raya roja, ataque de barrenador y pulgón amarillo.
	Susceptibilidad	
	Rendimiento	

Referencia: INIFAP; 2013

En la zona de producción de piloncillo, solo se usan fertilizantes naturales y en ninguna etapa han usado fertilizantes químicos. Los productores reportan haber recibido una capacitación para la producción de abonos naturales u orgánicos. Este abono lo conoce como “Supermagro” y cada ciclo se invierten recursos y tiempo para preparar el fertilizante a partir de estiércol de ganado, ceniza, melaza y el suero (residuo de la leche), además de levadura de pan. Para la aplicación del abono, se usa bombas de aspersión de mochila y que consume de 4 a 5 bombas de 20 L por hectárea. La aplicación del fertilizante se hace después de cada corte de caña, cuando el brote tiene de 20 a 30 cm. La aplicación se hace en condiciones de humedad, muy temprano en la mañana, aunque dice que es mejor si la adición del fertilizante se hace en la noche para facilitar que el sereno facilite la absorción del fertilizante.

En relación con las plagas, se reporta que en campo no se han tenido este problema. Ocasionalmente, se ha presentado problemas con roedores, el mejor control es que las serpientes eliminen a los roedores. De esta forma, ya las familias saben que no hay que matar a las serpientes para facilitar el control natural de los roedores.

Con base al hecho que el riego es de temporal, que no usan fertilizantes ni herbicidas químicos, además que de que no queman la caña al corte, el grupo de productores consideran que la caña de azúcar que producen es orgánica. Durante varios años buscaron que se les reconociera esta denominación, pensando que con la misma sus productos podrían tener mayor valor en el mercado. En los últimos dos ciclos, un grupo de productores recibieron por parte de una organización asociada Instituto Nacional de Pueblos Indígenas un certificado que la caña que producen es de naturaleza orgánica. Este certificado se debe renovar cada año y el costo del mismo (alrededor de \$39,000 pesos) es pagado entre un grupo de 12 productores.



Figura 5. *Caracterización física de la caña de azúcar*

Fuente: imagen propia.

3.4 Corte y traslado de la caña

Por lo general, se evita un corte de caña muy alto; se hace prácticamente al ras, mediante un corte limpio, de un solo tajo, usando un machete afilado. Indica que el corte plano evita la entrada de hongos a la planta. Por esta misma razón, se prefiere que el corte se haga en condiciones secas y preferentemente soleadas, ya que la condición que prevalece en días lluviosos propicia la entrada del hongo a la planta. Sin embargo, hace notar que en la temporada de marzo a mayo la temperatura en su comunidad es tan alta, mayor inclusive a 40 C, que hace inviable el trabajo de corte a la luz del sol, razón por la cual el corte lo deben hacer una noche anterior o muy temprano al inicio de una jornada. Para cada punto, se recolecta alrededor de 300 kg de caña.

Un aspecto importante es el traslado de la caña cortada al trapiche. En algunos casos, la sección del terreno es plana y la distancia del punto de corte al trapiche, al inicio de una temporada, es de solo 80 a 100 m. Esta distancia se incrementa con el paso de la temporada, por lo que llega a ser un reto. En otras unidades de producción de piloncillo, el traslado es de laderas. El traslado es manual, no hay aun apoyo mecanizados y, como se hizo referencia en otros trapiches, es conveniente el desarrollo de utensilios mecanizados, prácticos y económicos, que faciliten el traslado de la caña, más cuando el terreno está en declive y las distancias del terreno de cultivo al trapiche son mayores a 300 m.



Figura 6. Corte de la caña de azúcar

Fuente: Imagen propia

3.5 Extracción del jugo de caña

Una de las aspiraciones de todos los micro-productores de la zona de incidencia, es conseguir un trapiche propio. En algunas ocasiones, esto es posible en el marco de un programa del gobierno municipal, que otorgó facilidades en la gestión, de forma general el trapiche permite extraer el jugo de 2 o 3 cañas a

la vez. El nivel de producción de jugo es de 600 L/h, aunque típicamente los productores, lo operan para obtener 80-300 L/h.



Figura 7. *Proceso de extracción de jugo de caña de azúcar*

Fuente: Imagen propia

3.6 Cuidados en el manejo de las muestras

Las muestras colectadas se deben trasladar al laboratorio para su análisis fisicoquímico y/o microbiológico. Algunas de ellas requieren cuidados específicos durante el traslado para evitar su descomposición. Los cuidados para el manejo y traslado de las muestras más comunes son las siguientes:

- a) El jugo de caña deberá de ser envasado en materiales de plástico totalmente inertes y conservarse a 4 C, se sugiere el uso de hielera con suficiente hielo.
- b) Las muestras de bagazo que se destinan para el análisis químico, se colectan en bolsas de plástico y son selladas con cinta adhesiva.
- c) Las muestras de bagazo que se destinan para el análisis de contenido de humedad, se colectan en bolsas tipo ziploc.
- d) Cada muestra deberá de ser etiquetada en papel adhesivo y con marcador indeleble con los siguientes datos:
 - Fecha de muestreo.
 - Localización del punto de muestreo.
 - Tipo de muestra.

- Responsable de muestreo

3.7 Datos para el balance de materia del corte de caña y extracción del jugo

En la figura 8 se esquematiza de forma general las etapas y/o los productos a caracterizar en el proceso de corte de caña y extracción del jugo para realizar el balance de materia del proceso.

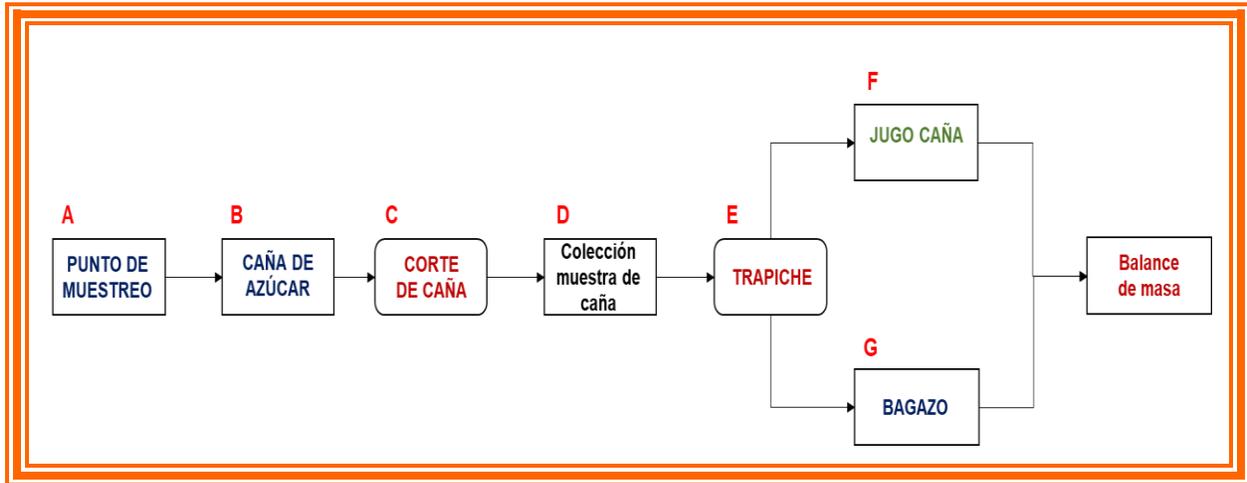


Figura 8. Esquema del balance de materia de corte y extracción de jugo de caña

Fuente: Sánchez Castillo y col., 2022

a) Zona de muestreo de la caña de azúcar (A)

El reconocimiento de la zona es de suma importancia para establecer la relación de la calidad de la caña de azúcar y la producción de jugo que se pueda obtener en la molienda. Para este punto es necesario el apoyo del productor para que indique las principales características de su terreo; condiciones climáticas más comunes, temperatura, humedad, radiación solar, requerimientos de agua, preparación del terreno, limpieza del terreno, adición de fertilizantes o insecticidas, manejo de fertilizante orgánicos.

b) Caña de azúcar (B)

Identificación de la variedad de caña para el procesamiento, época de corte, edad de la caña.

c) Corte de la caña (C)

La primera etapa de muestreo es el corte y acarreo de la caña de azúcar, previo a la etapa de extracción de jugo de caña, se realiza el corte manual de la caña y se transporta a mano con el apoyo de carretilla.

d) Colección de muestra de caña (D)

La caracterización fisicoquímica de la caña de azúcar tiene como principal objetivo la correlación del diámetro y longitud de las varillas de caña y la cantidad de jugo extraído.

e) **Trapiche (E)**

Para el caso del molino, se requiere de contar con los datos de potencia del motor, así como la capacidad de molienda que tiene el equipo por hora.

f) **Jugo (F)**

Para el jugo se mide su concentración inicial de Brix y su grado de acidez (pH).

g) **Bagazo (G)**

Se cuantifica la cantidad de bagazo generado.

Los datos requeridos se resumen en la Tabla 13, los datos incluyen parámetros ambientales, como humedad y temperatura, condiciones del cultivo, variedad de caña de azúcar, temporada de corte, edad de corte, cantidad de jugo obtenido en la molienda, cantidad de bagazo obtenido de la molienda, entre otros.

3.8 Horno

Por otra parte, el calor requerido en el procesamiento del jugo se proporciona a través del horno en el cual sienta la puntera. Las dimensiones del horno se ajustan a las de la puntera para asegurar un mejor uso de la energía. El horno está hecho de piedras y barro y sienta bajo nivel de tierra. En el trapiche de Venancio, las dimensiones son 180 cm de largo, 90 cm de ancho y 90 cm de alto. Las dimensiones de la entrada son de 60 cm de ancho y 55 cm de alto. En el otro extremo la descarga del horno tiene dimensiones de 65 cm de ancho por 58 cm de alto. La descarga está conectada al tiro del horno que se extiende por 3 m para ventear lo gases fuera de techo del trapiche.

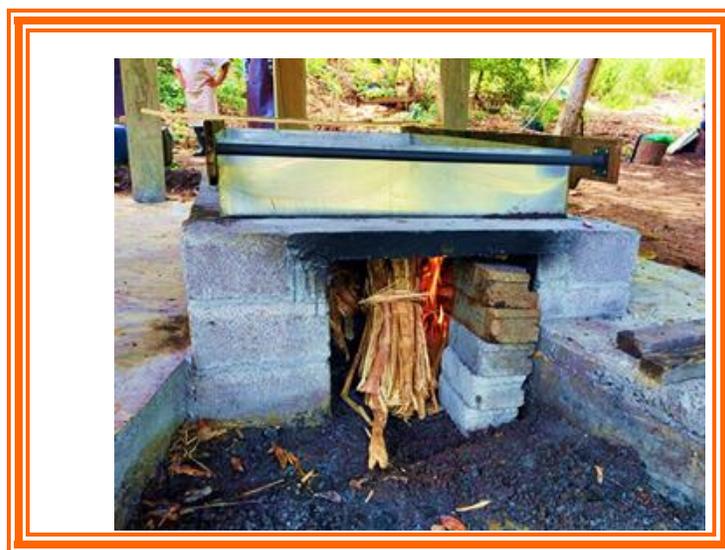


Figura 9. Horno

Fuente: Imagen propia

Tabla 13. Datos requeridos para el proceso de muestreo

Etapa de proceso		Información requerida	Observaciones	Insumos requeridos
A	Punto de muestreo	a) Condiciones ambientales: temperatura y humedad ° C. b) Posición geográfica de muestreo.	Indicar si hay presencia precipitación fluvial	a) Termómetro. b) GPS
B	Caña de azúcar.	a) Variedad de caña, edad, temporada de corte. b) Datos de diámetro y longitud de muestras de caña (cm). b) Pesos de muestras (Kg).	Cada lote de muestreo deberá de tener un peso de aprox. 300 kg.	a) Vernier. b) Flexómetro. c) Balanza de hasta 5 kg.
C	Extracción de caña de azúcar.	a) Datos de modelo del trapiche. b) Características del equipo de extracción.	Medición de tiempo de molienda.	a) Cronometro.
D	Jugo de caña de azúcar.	a) Peso de jugo obtenido (Kg). b) Volumen de jugo obtenido (L). c) Densidad de jugo (Kg/L). d) ° Brix e) pH	Documentación de cambio de coloración conforme al tiempo. La muestra de jugo deberá de colocarse en frío inmediatamente de su colección para evitar fermentación.	a) Balanza de hasta 5 kg. b) Matraz de plástico volumétrico. c) Cronometro. d) Potenciómetro e) Refractómetro f) Frascos colectores g) Hielo y hielera.
E	Bagazo de caña de azúcar.	a) Peso de bagazo obtenido (Kg).		a) Balanza hasta 5 kg. b) Bolsas tipo ziploc para muestras de humedad. c) Bolsas de plástico para recolección de muestra.

La fuente de energía principal para el horno es el bagazo que resulta de la extracción del jugo en el trapiche. Los productores ponen a secar al sol este bagazo por espacio de 1 a 3 días en función de las condiciones climatológicas. Después, el bagazo seco se dobla en forma de atos que se apilan próximo a la entrada del horno. No hay in control del peso de los atos, pero la experiencia les permite hacerlos con un peso muy similar. Para encender el horno, forman en el horno una base con 3 o 4 trozos de palo, que se queman más lentamente que el bagazo y que sirven para darle más altura a los atos de bagazo. El encendido del horno marca el punto inicial de referencia del procesamiento. Después de unos min de inducción, el fuego es intenso y se mantiene vivo a lo largo del proceso por la adición secuencial de los atos de bagazo. Esta acción demanda la atención continua de una persona; si bien en las primeras etapas del proceso la adición de bagazo es periódica y rutinaria, hacia el final del proceso se requiere de la experiencia para dosificar la cantidad y definir el tiempo apropiado de adición del bagazo. Venancio reconoce que esta acción de regular la cantidad de energía así generada afecta el procesamiento de la miel y condiciona el “punto” y la calidad del producto.

La energía generada en el horno se transfiere a la puntera. Es notorio que las condiciones de calor suministrado (temperatura del horno) son cambiantes al momento que se añade un ato de bagazo; sin embargo, como lo hacen de forma muy sistemática, se puede inferir que la cantidad de energía añadida sigue un ciclo. Venancio está de acuerdo con este planteamiento y reconoce una oportunidad de regular mejor la cantidad de energía añadida.

3.9 Datos requeridos para la caracterización del horno

Para la caracterización del horno, es requerido determinar la distribución del perfil de temperatura en función de la cantidad de bagazo atizado y el tiempo de cocción del jugo. Para determinar la correlación entre ambos parámetros, es necesario documentar los aspectos mencionados en la Tabla 15, que incluyen:

- Cantidad de bagazo quemado.
- Humedad del bagazo.
- Temperatura de la entrada del horno cada 5 min.
- Temperatura cada que se agrega ato de bagazo.
- Contenido de humedad del bagazo de caña
- El tiempo de cocción del jugo.

Tabla 14. Registro de datos del perfil de temperatura en el horno

"Desarrollo Social y Económico de Pequeñas Unidades Agroindustriales con base en la Socialización, Gestión, Generación y/o uso Eficiente de Energía Sustentable"										
TEMPERATURA EN EL HORNO										
Fecha			Ubicación		Variedad de caña				Humedad de bagazo: %	
Tipo de muestra			Temperatura		Temporada de corte				Peso total de bagazo kg	
Peso de la muestra			Humedad Relativa		Edad de corte				Tiempo de cocción jugo min	
Observaciones de muestreo	NOTA: INCLUIR DIAGRAMA DE LOS PUNTOS DE LECTURA									
REGISTRO DE MUESTRAS: BAGAZO PESADO PARA HORNO										
									Bagazo	
Tiempo (min)	Temperatura C		Tiempo (min)	Temperatura C		Tiempo (min)	Temperatura C		Tiempo (min)	Temperatura C

3.10 Evaporación del jugo de caña en piloncillo: puntera

La conversión del jugo de la caña se lleva a cabo en una puntera de acero inoxidable. En algunos trapiches, la puntera es 1.8 m de largo, por 0.93 m de ancho y 0.32 m de alto. El volumen de jugo que trabaja en cada punto depende del producto deseado. Si es pilón negro se cargan 300 L y si se desea piloncillo granular se cargan de 6 o 7 latas de 20 L. Este volumen puede variar. La carga del jugo a la puntera es directa y se hace por lo general inmediatamente después de terminar la extracción del jugo. Por el carácter ácido del jugo de caña, se hace una adición de cal para regular el pH, en cantidades dictadas por la experiencia.

El procesamiento del jugo consiste en calentar progresivamente el jugo hasta alcanzar la condición en la cual se evapora el agua del jugo. A lo largo de este proceso, también se encarga de ir eliminando los sobrenadantes en el jugo, conocidos como cachaza y que al ser residuos se deben eliminar para mejorar la calidad del producto, aun en detrimento del peso final del producto. En esta etapa es posible observar la cantidad de agua que está siendo evaporada con la consecuente disminución del nivel de la mezcla en la puntera. Este proceso se mantiene, ya con agitación frecuente, hasta que el jugo se concentra hasta alcanzar una condición que colecta la melaza, que es una miel líquida concentrada en azúcares, que se puede vender directamente en el mercado como endulzante o a intermediarios que la usan como materia prima para otros procesos productivos. Si la miel se deja en la puntera un poco más, se muestra cómo es posible identificar una condición de la mezcla que la apropiada para detener el proceso para obtener el pilón negro o el piloncillo granular. Esta condición se conoce como el “punto” y es uno de los secretos de cada familia piloncillera. Los productores saben que determina la calidad del producto (“puede afectar la cantidad final de humedad”) y tiene un par de forma de determinar el “punto” para cada producto y representa la herencia de quienes lo capacitaron. En otros trapiches, los micro-productores tienen otras alternativas y, en algunos casos, los productores de mayor edad se encargan de esta actividad, que es crítica para detener a tiempo el proceso y garantizar que será posible cuajar el pilón o generar el granulado, además de la apariencia y calidad del producto. El tiempo de procesamiento del jugo al punto de melaza depende de múltiples factores, pero en el caso representativo se extiende por espacio de 2.5 h. Después de otros 10 o 15 min adicionales, se alcanza la condición del “punto” que varía si se produce pilón negro o piloncillo granular.

En el procesamiento del jugo se usan diferentes utensilios tales como palas o paletas, espátulas, y tela de organza para remover la cachaza, pero en muchos trapiches siguen siendo una necesidad. Por otra parte, la limpieza de la puntera y de los utensilios sigue siendo crítica, los productores reconocen que todavía hay cosas por hacer en sus trapiches lo que a higiene se refiere. Algunas de ellas están pendientes

de implementar por la falta de recursos para adecuar los espacios o adquirir insumos como mesas y contenedores adecuados.



Figura 10. *Cocción del jugo de caña en puntera*
Fuente: Imagen propia

3.11 Datos requeridos para la caracterización de la puntera

Para la caracterización de la puntera, es requerido determinar la distribución del perfil de temperatura y el tiempo de cocción del jugo. Para determinar la correlación entre ambos parámetros, es necesario documentar los aspectos mencionados en la Tabla 15, que incluyen:

- Temperatura en al menos cinco puntos representativos y distribuidos en toda la superficie de contacto jugo – puntera. Las lecturas deberán de realizarse al menos cada 5 min.
- Registro de los grados Brix del jugo al inicio de la cocción.
- Parámetros ambientales.

Tabla 15. Registro de datos del perfil de temperatura en la puntera

"Desarrollo Social y Económico de Pequeñas Unidades Agroindustriales con base en la Socialización, Gestión, Generación y/o uso Eficiente de Energía Sustentable.										
REGISTRO DE PERFIL DE TEMPERATURA EN PUNTERA										
Fecha			Ubicación			Variedad de caña			Grados Brix	
Tipo de muestra			Temperatura			Temporada de corte				
Peso de la muestra			Humedad Relativa			Edad de corte			Tiempo de cocción jugo min	
Observaciones de muestreo	NOTA: INCLUIR DIAGRAMA DE LOS PUNTOS DE LECTURA									
1			2			3			4	
Tiempo (min)	Temperatura C		Tiempo (min)	Temperatura C		Tiempo (min)	Temperatura C		Tiempo (min)	Temperatura C

3.12 Balance de materia

El balance de masa permite conocer las cantidades requeridas de cada materia prima ingresada al proceso, así como la identificación de la eficiencia y pérdidas que se tienen en el proceso. En el caso de la producción de piloncillo, la materia prima es la caña de azúcar, se requiere conocer cuál es la cantidad de caña a moler para poder obtener entre 135 y 140 Kg de jugo de caña. Es jugo, al pasar por el proceso de evaporación, pierde aproximadamente el 150% de su peso, ya que al final se obtienen entre 20 y 25 Kg de piloncillo como producto final. Otro aspecto importante, es conocer la cantidad de bagazo de caña, este es el principal desecho generado en la producción de piloncillo.

Para el cálculo del balance, se requiere aplicar la siguiente serie de ecuaciones:

$$\mathbf{Balance\ general} = W_{caña\ fresca} - (W_{Jugo} + W_{Bagazo} + W_{Fibra}) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\% \mathbf{Perdida} = \frac{W_{caña\ fresca} - W_{Balance}}{W_{caña\ fresca}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

3.13 Nivel de producción de caña de azúcar y piloncillo

Los productores correlacionan, empíricamente, las características del terreno, del clima y de la semilla, con el nivel de producción de caña de azúcar en el campo, con la cantidad de jugo que se obtiene de la caña, con la cantidad de sacarosa en el jugo y con la cantidad de piloncillo que obtiene por volumen de jugo procesado. Estos parámetros dependen de las condiciones de cultivo y de corte de la caña. Los cálculos los establece con base a su experiencia cotidiana en cada “punto” (o proceso): de cada 300 kg de caña, obtiene alrededor de 140 L de jugo de caña, a partir de los cuales se obtiene de una cantidad de variable de piloncillo granulado. En la temporada de octubre-noviembre-diciembre, cuando la caña contiene más agua, el contenido de sacarosa en el jugo de caña baja alrededor de 16 grados Brix y, en consecuencia, solo produce de 21 a 22 kg de piloncillo granular. Por el contrario, en la época de febrero-marzo-abril, cuando la caña tiene menor cantidad de agua, el contenido de sacarosa lo estima de 19 a 21 grados Brix y entonces puede producir de 28 a 32 kg de piloncillo granulado. De esta forma, se estima que en promedio produce de 70 a 80 kg de piloncillo por tonelada de caña procesada. Mas específicamente, indicó que alcanza a producir de 6.5 a 7 toneladas de pilón por hectárea y alrededor de 5 ton de piloncillo granular por hectárea.

4 ESTRATEGIA DE CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

La estrategia integral de caracterización fisicoquímica del sistema caña de azúcar se esquematiza en la Figura 3, cada una de las metodologías en las cuales se basa la determinación de las propiedades del sistema se basan en normas nacionales (NMX) y normas estandarizadas internacionales como TAPPI, ASTM y NREL. La caracterización del sistema de caña de azúcar requiere de la implementación de análisis químicos, físicos en el caso de la caña de azúcar y el bagazo de caña de azúcar y análisis químicos, físicos, microbiológicos y bromatológicos para el jugo de caña de azúcar y el piloncillo artesanal.

4.1 Caracterización Química

Para los análisis químicos de la caña y el bagazo de caña de azúcar, se incluye métodos para el bulk y la superficie. La caracterización química incluyó técnicas gravimétricas y volumétricas basadas en las siguientes normas TAPPI, ASTM y LAP/NREL, para determinar:

1. Extraíbles:

La determinación de los extraíbles es relevante para cuantificar de manera indirecta la cantidad de azúcares totales presentes en la estructura fibrosa de la caña y el bagazo, de igual manera se determina el porcentaje en peso de compuestos volátiles que se pueden considerar interferencias (Ramírez-Medorio, et al., 2019).

2. Lignina:

La lignina proporciona dureza, rigidez y resistencia a la pared celular, así como el transporte de agua, nutrientes y metabolitos (Bergman *et al.*, 2005). En consistencia con estas características, Demirbas (2004) sugirió que un mayor contenido en lignina se exhibe mayor resistencia a la descomposición térmica y por lo tanto un mayor potencial calorífico.

3. Holocelulosa: (celulosa + hemicelulosa):

El análisis químico de la holocelulosa es la base para determinar el contenido de la celulosa, este compuesto se degrada a varios compuestos volátiles, así como vapor de agua, alquitrán, hidrocarburos, ácidos, H₂, CH₄, CO y CO₂. La diferencia en pesos de hemicelulosa y holocelulosa, es la hemicelulosa, se somete a un tratamiento termoquímico, los grupos acetilo y metilo de la hemicelulosa se descomponen para desprender de CO y CO₂ (Rowell 2012).

4. Cenizas:

Las cenizas dan un aproximado del porcentaje de los minerales contenidos en el bagazo. En consecuencia, se puede inferir si la muestra puede tener mayor contenido metálico con respecto a la misma variedad vegetal de otras regiones geográficas (Thyrel *et al.* 2013).

5 Contenido de metales mediante la técnica de ICP:

Es requerido descartar la presencia de metales pesados en las variedades vegetales. La presencia de metales con cadmio (Cd) y plomo (Pb) pueden tener efectos negativos en el desarrollo de una especie vegetal, inhibiendo el crecimiento en raíces o en el resto de los órganos, así como fallas estructurales y aparición de especies reactivas de oxígeno (ROS) que producen estrés oxidativo (Cobbett, 2002).

6 Azúcares totales:

La caña de azúcar y el bagazo tienen un alto contenido de azúcares solubles, generalmente sacarosa. Dentro de la principal aplicación de los azúcares se han propuesto como intermediarios relevantes para la posible producción de hidrocarburos a través del proceso de reformado en fase acuosa de estos compuestos oxigenados (Vassilev *et al.*, 2010).

4.2 Caracterización física

La caracterización física de las muestras de caña y bagazo incluyen la medición de:

1. Humedad:

Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa residual tenga un contenido de humedad inferior a 10%. En el proceso de molienda, el bagazo sale del proceso productivo con un contenido de humedad mayor a 60%, lo que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al horno para la conversión de energía (De Lucas y Del Peso, 2012).

2. Tamaño de partícula:

Una vez que la caña pasa a través del molino, se obtienen fibras de bagazo con longitudes promedio de 120 cm, para la caracterización de la muestra, es necesario la reducción del tamaño de partícula, y es necesario determinar la proporción de los tamaños en la mezcla ya que de acuerdo a la literatura (Cetin *et al.* 2004, Lehmann *et al.*, 2009). De acuerdo con la aplicación específica del bagazo, se deberá de diseñar la forma y el tamaño de las partículas ya que afecta en: i) la homogeneidad de la mezcla, ii) el área específica, iii) las transferencias de calor y masa y iv) el comportamiento de flujo de las partículas (Lehmann *et al.*, 2009).

4.3 Caracterización de análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos se utilizan para evaluar la presencia de microorganismos patógenos en alimentos y bebidas. Esto incluye la detección de bacterias como Salmonella, Escherichia coli (E. coli), Listeria, entre otros, que pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos. En la producción de alimentos, los análisis microbiológicos se emplean para monitorear la calidad y la higiene durante los procesos de fabricación y en los productos finales.

Los análisis microbiológicos para el jugo de caña y el piloncillo incluyen:

1. Cuantificación de bacterias aerobias en placa.
2. Cuantificación de microorganismos coliformes totales en placa.
3. Cuantificación de mohos y levaduras.

4.4 Caracterización de bromatológicos

El principal producto obtenido de la molienda de la caña de azúcar. Para determinar la calidad del jugo de caña de azúcar, así mismo, el piloncillo es considerado un endulzante natural proveniente de la concentración de los azúcares del jugo de caña. Es conocido como azúcar no centrifugado, por lo que el producto final está constituido por componentes esenciales de la caña de azúcar, como minerales, vitaminas, aminoácidos, proteínas y antioxidantes (De Maria, 2013). A pesar de que existen datos cuantitativos referentes a la composición nutrimental del piloncillo, los datos siguen siendo relativos debido a las variaciones que representan factores como las diferentes variedades de caña de azúcar, las variaciones en el cultivo, y los procesos de producción. Para los análisis bromatológicos, se propone determinar los siguientes parámetros:

1) pH:

Se considera como indicador eficaz para evaluar el grado de deterioro de los jugos en el campo.

2) Actividad de agua:

Predictor de estabilidad y estado sanitario de un alimento. Ayuda a establecer el tiempo que puede pasar antes de que el fabricante pueda garantizar su seguridad y su óptima calidad (vida útil) y a aplicar métodos para alargarla si es preciso.

3) Grados Brix y azúcares totales:

En México, la calidad del jugo de caña de azúcar se considera adecuada, los °Brix oscilan entre 12 y 18, el contenido de sacarosa es igual o mayor a 12.5%, pureza entre 79 y 89%, mientras que la concentración de azúcares reductores debe ser inferior al 1% (Salgado et al., 2003, Reyes-Hernández, y otros, 2022).

4) Viscosidad:

Comportamiento hidrodinámico del jugo de caña, este comportamiento está relacionado con el contenido químico del jugo.

5 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

5.1 Determinación de azúcares por HPLC

La cromatografía líquida (HPLC), es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla. Consiste en una fase estacionaria no polar (columna) y una fase móvil. La fase estacionaria es sílice que se ha tratado. La fase móvil actúa de portador de la muestra. La muestra en solución es inyectada en la fase móvil. Los componentes de la solución emigran de acuerdo a las interacciones no-covalentes de los compuestos con la columna. Estas interacciones químicas, determinan la separación de los contenidos en la muestra. La utilización de los diferentes detectores dependerá de la naturaleza de los compuestos a determinar.

a) Material y equipo

Columnas de resina para intercambio iónico.

b) Procedimiento

Extracción

1. Pesar aproximadamente 1 g de la muestra y colocar en matraces volumétricos de 25mL.
2. Aforar cada matraz con fase móvil (H_2SO_4 0.008N) que debe de ser preparada con agua grado HPLC de la marca J. T Baker previamente filtrada con papel filtro Whatman 0.45 μm .
3. Filtrar cada una de las muestras preparadas con papel filtro Whatman 0.45 μm

c) Cuantificación

La cuantificación fue realizada por un equipo HPLC marca Thermo Scientific Ultimate 3000 con una bomba ultimate 3000 un índice de refracción Refractomax 520, software Chromeleon y una columna Animex HPX-87H (300mm x 7.8 mm), las condiciones de elución fueron: 100% solución de H_2SO_4 a 0.008N a un flujo 0.4 mL/min, a una temperatura de 30°C, con un volumen de muestra de 20 μL . Se realizó una curva de calibración de sacarosa de la marca Sigma Aldrich (Sacarosa S5016).

5.2 Grados Brix

Los Grados Brix son un sistema de medición específico, en el cual representan el porcentaje en peso de sacarosa pura en solución. En la industria azucarera se le considera como el porcentaje de sólidos disueltos y en suspensión, en las soluciones impuras de azúcar. Su medición se basa en el índice de refracción de soluciones que contengan principalmente sacarosa. Este índice, es una medida exacta de la concentración de sustancia disuelta en soluciones que contengan principalmente sacarosa.

a) Reactivos

Agua destilada.

b) Material y equipo

Cuchara o gotero, pizeta, colador, papel filtro, refractómetro con capacidad para registrar lecturas de 0 °Brix a 95 °Brix, con corrección automática de temperatura.

c) Procedimiento

1. De ser necesario, colar la muestra de la solución que contenga principalmente sacarosa.

NOTA: En caso de muestras con alta densidad, se deben diluir con agua y la lectura refractométrica debe multiplicarse por el factor de dilución.

2. Enjuagar el prisma con agua.

3. Tomar una gota de la solución y colocarla en el refractómetro.

4. Observar la escala del refractómetro y anotar la lectura indicada.

NOTA: La temperatura se corrige automáticamente, de acuerdo con el refractómetro. La limpieza del equipo debe hacerse atendiendo el instructivo del mismo.

d) Cálculos

La lectura indicada por el refractómetro es igual al ° Brix de la muestra

5.3 pH

Se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un aparato medidor de pH (potenciómetro).

a) Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico, cuando se indique agua, se debe entender agua destilada: Solución reguladora de pH 4, Solución reguladora de pH 7, Solución reguladora de pH 10

b) Material y equipo

Utensilios apropiados para abrir los envases, agitador de vidrio, termómetro, vasos de precipitados, balanza con = 0.1 g. de sensibilidad, embudo de separación, potenciómetro con electrodo, agitador mecánico o electromagnético, licuadora o mortero

c) Procedimiento

Preparación de la muestra

Los productos alimenticios podrán consistir en un líquido, una mezcla de líquido y sólido, los que pueden diferir en acidez. Otros productos alimenticios podrán ser semisólidos o de carácter sólido. Las siguientes preparaciones para examinar pH se recomiendan para cubrir esta situación:

➤ **Productos sólidos**

Remover la porción sólida del tamiz y colocarla en una licuadora o mortero. Añadir de 10 a 20 mL de agua destilada recientemente hervida por cada 100 g de producto, con objeto de formar una pasta uniforme. Ajustar la temperatura a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y determinar su pH,

➤ **Productos semisólidos**

Mezclar el producto para obtener una pasta uniforme. Adicionar cuando el caso lo requiera entre 10 y 20 mL de agua destilada recientemente hervida por cada 100 g de producto, ajustar la temperatura a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y determinar su pH.

Medición

1. Calibrar el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH4, pH7 y pH10 según la acidez del producto.
2. Tomar una porción de la muestra ya preparada, mezclarla bien por medio de un agitador y ajustar su temperatura a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
3. Sumergir el (los) electrodo(s) en la muestra de manera que los cubra perfectamente.
4. Hacer la medición del pH.
5. Sacar el (los) electrodo(s) y lavarlos con agua.

d) **Cálculos**

El valor del pH de la muestra se lee directamente en la escala del potenciómetro.

5.4 Grados Brix

Los Grados Brix son un sistema de medición específico, en el cual representan el porcentaje en peso de sacarosa pura en solución. En la industria azucarera se le considera como el porcentaje de sólidos disueltos y en suspensión, en las soluciones impuras de azúcar. Su medición se basa en el índice de refracción de soluciones que contengan principalmente sacarosa. Este índice, es una medida exacta de la concentración de sustancia disuelta en soluciones que contengan principalmente sacarosa.

a) **Reactivos**

Agua destilada.

b) **Material y equipo**

Cuchara o gotero, pizeta, colador, papel filtro, refractómetro con capacidad para registrar lecturas de 0°Brix a 95°Brix , con corrección automática de temperatura.

c) **Procedimiento**

1. De ser necesario, colar la muestra de la solución que contenga principalmente sacarosa.

NOTA: En caso de muestras con alta densidad, se deben diluir con agua y la lectura refractométrica debe multiplicarse por el factor de dilución.

2. Enjuagar el prisma con agua.
3. Tomar una gota de la solución y colocarla en el refractómetro.
4. Observar la escala del refractómetro y anotar la lectura indicada.

NOTA: La temperatura se corrige automáticamente, de acuerdo con el refractómetro. La limpieza del equipo debe hacerse atendiendo el instructivo del mismo.

c) Cálculos

La lectura indicada por el refractómetro es igual al ° Brix de la muestra

5.5 Contenido de azúcares totales

Los Azúcares presentes en una muestra de azúcar comercial o de algún producto azucarado se determinan cuantitativamente por métodos físicos (ópticos) o por métodos químicos. Cuando se usan métodos químicos el más aconsejable es el que utiliza los reactivos de Fehling-Soxhlet, que precipita el óxido cuproso (Cu_2O) en presencia de una sustancia reductora. El método puede ser volumétrico o gravimétrico. El método gravimétrico se conoce como la propuesta de Munson y Walker y el método volumétrico como la propuesta de Eynon-Lane.

El método gravimétrico corresponde a la cantidad de cobre reducido en presencia de azúcares reductores; el peso en miligramos de Cu_2O corresponde a los Miligramos de azúcares analizados, por medio de las tablas de Munson y Walker que aparecen en el AOAC. Hay que tener en cuenta las diluciones para reportar la concentración final.

a) Reactivos

HCl concentrado, NaOH al 10%, NaOH al 20%, Indicador de azul de metileno, Reactivo de Fehling-Soxhlet (A y B).

b) Material y equipo

Matraz de aforación de 25 mL, matraz Erlenmeyer de 50 mL, soporte universal, matraz de aforación de 50 mL, barra magnética, bureta, tiras de papel indicador de pH, varillas de reflujo, balanza analítica, placa de calentamiento.

c) Procedimiento

Hidrólisis ácida

1. En un vaso de precipitados de 50 mL, pesar 1.25 g de muestra y aforar a 25 mL con agua destilada (en matraz aforado o en probeta si la muestra contiene muchos solidos).

2. Pesar los 25 mL a un matraz Erlenmeyer de 50 mL y agregar 1 mL de HCl concentrado, tapar con un refrigerante de reflujo y calentar.
3. Realizar la hidrólisis durante 1 h a ebullición constante.
4. Después de la hidrólisis, enfriar para poder neutralizar con NaOH al 20% gota a gota y como se va acercando a la neutralidad se sigue con NaOH al 10% hasta un pH=7 verificando con tiras de pH.
5. Ya neutralizado, se afora en un matraz de 50 mL y se realiza la cuantificación.
6. En casa necesario filtrar.
7. Titular con el filtrado.

Para contabilizar los azúcares

8. Se prepara en matraz Erlenmeyer 50 mL por duplicado lo siguiente: 1 mL del reactivo “A” y “B” de Fehling-Soxhlet, 5 mL de agua destilada y dos gotas de indicador azul de metileno.
Nota: se agrega el reactivo A primero y enseguida el reactivo B, de preferencia preparar la mezcla cuando vaya a utilizar.
9. Poner en calentamiento el matraz Erlenmeyer hasta obtener una ebullición constante, encender la agitación y se empieza a titular hasta obtener una coloración rojo ladrillo.
Nota: Se titula gota a gota dejando un pequeño lapso entre ellas sin perder la agitación y la ebullición.
10. En la bureta se introduce la solución que se aforo previamente a 50 mL.
11. Registrar el volumen (mL) gastados.

d) Cálculos

$$\%CHOs = \left[\frac{(\text{Titulo de reactivo A y B})(\text{ml del aforo})}{W \text{ de la muestra}} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Nota: Colocar los reactivos generados (de la titulación) en el frasco ámbar etiquetado como residuos de F-S. El residuo orgánico se tira en la tarja.

5.6 Actividad de agua

El AquaLab utiliza la técnica de medición del punto de rocío en un espejo enfriado para la determinación de actividad de agua (aw) de la muestra. En este método, la muestra se equilibra con el ambiente de la cámara sellada la cual tiene un espejo. En el equilibrio, la humedad relativa del aire es igual a la actividad de agua de la muestra. La temperatura del espejo es controlada con precisión por medio de un enfriador termoeléctrico (Peltier). La detección del punto exacto en que aparece la primera condensación sobre el espejo es observada por una celda fotoeléctrica. Un rayo de luz es apuntado hacia el espejo y reflejado hacia el foto detector. El foto detector mide los cambios de reflexión cuando hay

condensación sobre el espejo. Una termopila adherida al espejo mide la temperatura a la que ocurre la condensación, el AquaLab entonces avisa mediante sonidos el final de la medición indicando entonces la actividad de agua final y la temperatura de la muestra en el display del mismo.

a) Reactivos

No se requieren reactivos.

b) Material y equipo

Tabla para picar, cuchillo, mortero, porta-muestras de aqualab, Aqualab (Water Activity Measurement).

c) Procedimiento

1. Encender el equipo y dejarlo reposar 10 min.
2. Cortar y/o picar finalmente, cuidando que no se pierda humedad.
3. Si es una muestra líquida homogenizar completamente
4. Colocar la muestra en el porta-muestra, cuidando que toda la superficie está cubierta y no sobrepasando la mitad de este.
5. Poner el porta-muestra en el aqualab y leer las instrucciones de operación para este equipo.
6. Realizar y registrar la lectura.

Nota: el residuo orgánico (muestra) generado se tira en la tarja dado caso de que sea sólido colocar en una bolsa de plástico fuera del laboratorio.

5.7 Análisis del contenido metálico

El plasma de acoplamiento inductivo con espectrometría de emisión óptica (ICP-OES), se utiliza para analizar simultáneamente elementos metálico, con bajas concentraciones como partes por mil millón (ppm) o partes por billón (ppb). El principio del ICP-OES es en base a un plasma de argón en el que se inyecta una muestra líquida atomizada. La muestra se ioniza en el plasma y los iones emiten luz a diferentes longitudes de onda características que posteriormente se miden [Agilent Technologies,2015].

La muestra se tamiza a un tamaño de 0.2 mm y se trata con una solución ácida de ácido clorhídrico. La muestra se lleva a través de una digestión a temperatura constante de 60 °C, durante 2 horas.

a) Material y equipo

Balanza analítica, horno de convección, desecador, dispositivo para filtrado, plasma de acoplamiento inductivo con espectrometría de emisión óptica.

b) Reactivos

Ácido clorhídrico (v/v), hidróxido de sodio 2 M, agua desionizada.

c) Preparación de reactivos

Hidróxido de sodio (NaOH) 2 M, disolver 80 g de NaOH al 98.6% en un litro de agua desionizada.

d) Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra en un vaso de precipitados de 100 mL
2. Agregar 15 mL de ácido macerando el material con una varilla de vidrio.
3. Reposar la mezcla durante 2 h a 60° C.
4. Transvasar el contenido a un matraz de 100 mL y aforar.
5. Dejar sedimentar el sólido y separar en un filtro.
6. Tomar una alícuota del filtrado.
7. Ajustar el pH del filtrado de 5 a 6 unidades con una solución de hidróxido de sodio 2 M.
8. Realizar una dilución de la muestra (en caso de ser necesario).
9. Filtrar la dilución.
10. Analizar por plasma de acoplamiento inductivo con espectrometría de emisión óptica.

6 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LIGNOCELULÓSICOS

La caña y el bagazo son considerados materiales lignocelulósicos. La biomasa lignocelulósica (BL) forma parte de la pared celular en los tejidos vegetales, por lo que está presente en la mayoría de las plantas. La pared celular permite crear y sostener la estructura de la planta, añadir resistencia a la degradación y a los agentes patógenos. Las células vegetales están constituidas por una red de fibras de celulosa que a su vez forman parte de las cubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina. Los análisis químicos realizados en diversas especies de biomasa lignocelulósica indican la existencia de cuatro compuestos principales que integran la pared celular del tejido, por lo tanto, las características químicas de la biomasa están relacionados con su contenido de: celulosa, hemicelulosa, lignina y extraíbles (compuestos orgánicos solubles que tienen gran influencia en las propiedades físicas de la especie). En general, la BL tiene una gran heterogeneidad en su estructura anatómica y su composición química.

El análisis de los compuestos de la biomasa lignocelulósica implica la separación y purificación de los distintos componentes que los integran a la biomasa lignocelulósica:

- Extraíbles.
- Hemicelulosa.
- Celulosa.
- Lignina.

En el proceso de caracterización se utilizan métodos específicos para pulpas de alto contenido lignocelulósico, basadas en normas TAPPI con la aplicación de técnicas gravimétricas y volumétricas. La secuencia de análisis para la biomasa lignocelulósica incluyó en la figura 6, en la que se propone el siguiente orden:

1. Extraíbles
2. Holocelulosa:
3. Celulosa,
4. Hemicelulosa,
5. Lignina total (lignina soluble + lignina insoluble,
6. Azúcares estructurales (fructosa, glucosa, xilosa).
7. Contenido de cenizas.

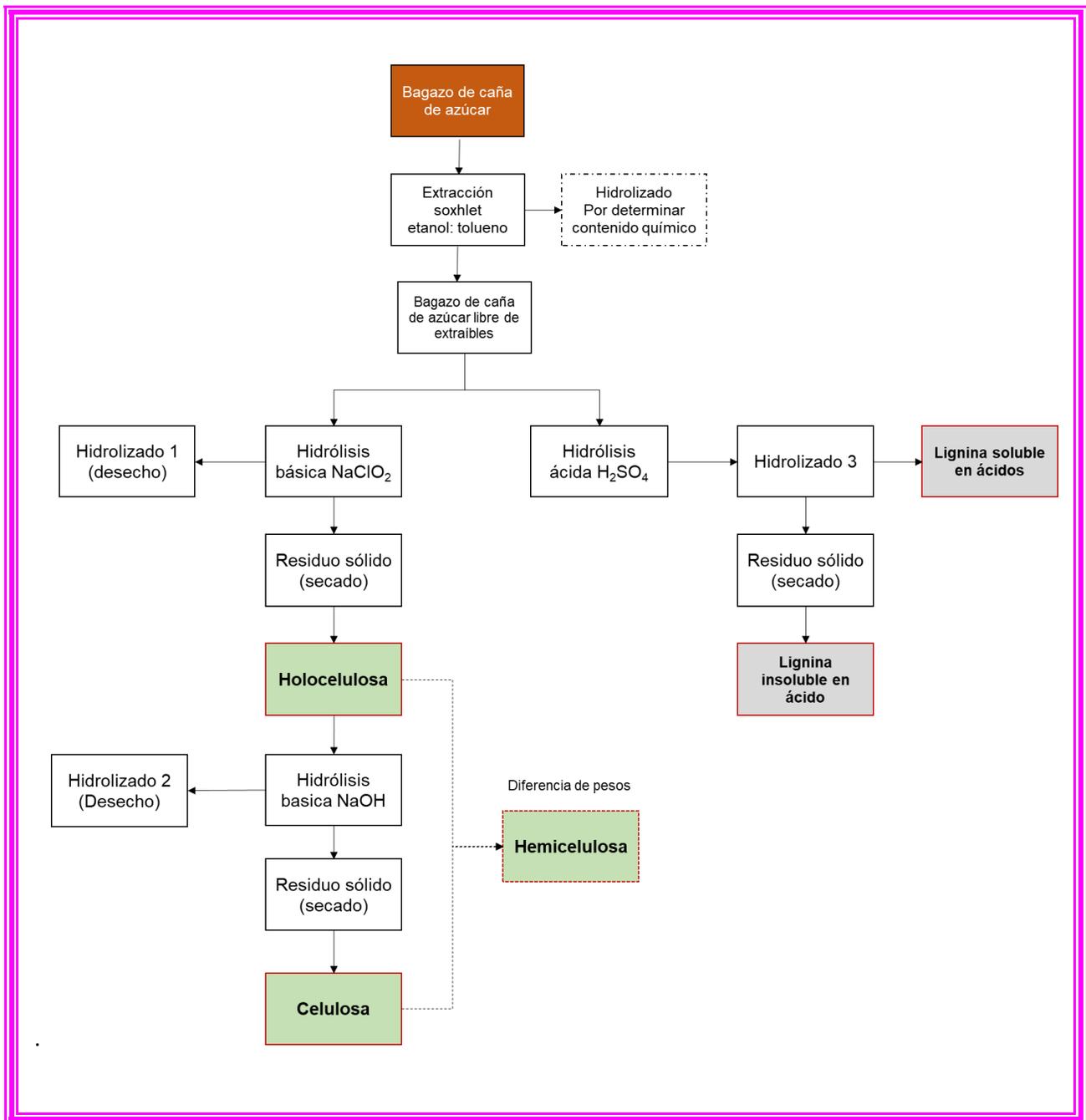


Figura 11. Diagrama de secuencia analítica para la caracterización química

Fuente: Sánchez et al., 2022

6.1 Extraíbles

De acuerdo con la norma T 264 cm-97 para la caracterización de biomasa, la muestra debe de estar libre de extraíbles por lo que la muestra se trata con solución de etanol-tolueno, para eliminar los componentes que puedan interferir con el análisis.



Figura 12. Sistema para la obtención de extraíbles.

Fuente: imagen propia

a) Material y equipo

Cartuchos de extracción de celulosa (Whatman ID 25 mmx EL 80 mm), soporte universal, placa Corning de agitación y calentamiento, baño maría con capacidad de un litro, termómetro, aparato de extracción Soxhlet con refrigerante tipo rosario 45/50, sifón 45/50, matraz fondo plano de 500 mL, recirculador a 2 °C, pinzas para refrigerante, 6 perlas de ebullición, horno de convección, termómetro, cronometro.

b) Reactivos

Etanol 95%, tolueno A.C.S, agua destilada, mezcla etilenglicol:agua (80:20 v/v) .

c) Procedimiento

1. Determinar el peso constante del matraz fondo plano de 500 mL.
2. Transferir de 6 a 10 g de muestra anhidra en el cartucho; cubrir con una porción de algodón.
3. Colocar el cartucho de extracción en el sifón.
4. Agregar 200 mL de solvente, etanol: tolueno (1:2 v/v) en el matraz.
5. Conectar el equipo de extracción Soxhlet sobre un baño de etilenglicol: agua a temperatura de 105° C

6. Conectar el recirculador en el refrigerante a 2 °C
7. Monitorear temperatura, tiempo y número total de ciclos durante 6 h
8. Lavar la muestra con 100 mL de etanol.
9. Pesar el matraz seco con los extraíbles obtenidos.
10. Al finalizar, lavar la muestra con agua destilada.
11. Secar la muestra en horno de convección a 70°C, por 18 h.

d) Cálculos

Los cálculos se llevan a cabo a partir de la siguiente ecuación:

$$\%E = \left[\frac{P-p}{M} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

P= Peso seco en gramos del matraz con extraíbles

p= Peso constante en gramos del matraz

M= Peso en gramos de la muestra seca

6.2 Determinación de holocelulosa

La holocelulosa es un polisacárido, que está formado por la suma de las cadenas de celulosa y hemicelulosa. Se cuantifica el contenido de holocelulosa de acuerdo con el método de Jayme-Wise, en donde la muestra libre de extraíbles se trata con clorito de sodio (NaClO₂) en medio ácido (CH₃COOH). Se separa la muestra por un filtro Gooch, se lava y se deja secar a 105°C. Por último, se coloca en un desecador y se pesa.



Figura 13. Fracción de holocelulosa, bagazo de caña de azúcar

Fuente: Imagen propia

a) Material y equipo

Balanza analítica, unidad de filtración al vacío, horno de vacío, desecador, pipetas, vasos de precipitado, matraz Erlenmeyer de 250 mL, crisol Gooch tamaño de porosidad media, termómetro, baño maría a 80° C, baño maría con agua y hielo.

b) Reactivos

Ácido acético glacial (CH₃COOH, clorito de sodio (NaClO₂), agua destilada, agua desionizada.

c) Procedimiento

- 1 Pesar 1 g de muestra libre de extraíbles y colocar en un matraz de 250 mL
- 2 Añadir 63 mL de agua desionizada.
- 3 Añadir 11 gotas de ácido acético (0.2 mL) y 1.5 g de clorito sódico (NaClO₂).
- 4 Introducir el matraz en un baño maría a 80 °C durante 1 h, agitar cada 30 min.
- 5 Cubrir con un vidrio de reloj
- 6 Repetir los pasos c) y d) 4 ciclos más.
- 7 Colocar el matraz en un baño de agua-hielo hasta que la temperatura de la muestra baje a 10°C (tiempo aproximado 20 min).
- 8 Después del tratamiento, separar en filtro Gooch, previamente se ha determinado su peso constante en el horno de secado a 103 ± 2 °C
- 9 Lavar el residuo con agua destilada hasta la eliminación de la coloración amarilla.
- 10 Posteriormente lavar con 50 mL de acetona
- 11 Secar el residuo a 60 °C en horno de vacío por 18 h o hasta alcanzar el peso constante.
- 12 Pesar el residuo
- 13 Determinar el contenido de humedad y el porcentaje de materia orgánica del residuo obtenido.

d) Cálculos

Los cálculos se llevan a cabo a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{Holo} = \frac{(P_3 - P_2)(100 - \%H_{\text{holo}})(\% \text{MO}_{\text{holo}})}{P_1(100 - \%H)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

P₁ = Peso inicial de muestra

% H_{holo} = % humedad de muestra HO

P₂ = Peso constante de filtro gooch

% MO_{holo} = % cenizas de muestra de HO

P₃ = Peso muestra final

% H = % humedad de muestra inicial

6.3 Determinación de celulosa

La determinación de la celulosa se lleva a cabo de acuerdo con la norma TAPPI T 203 CM-99. La determinación de la α -celulosa es un procedimiento que se deriva de la determinación de holocelulosa, el residuo resultante de dicha determinación es tratada con una solución de hidróxido de sodio al 17.5% (en peso).



Figura 14. Fracción de celulosa, bagazo de caña de azúcar

Fuente: imagen propia

a) Material y equipo

Balanza analítica, embudos de vidrio, bureta, vaso de precipitado de 300 mL, probetas, pipetas volumétricas y serológicas, matraces volumétricos, varillas de vidrio, papel filtro, baño maría a 20° C.

b) Reactivos

Solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 17.5% y agua desionizada.

c) Procedimiento

1. Pesar el residuo de holocelulosa en un vaso de precipitados de 250 mL.
2. Añadir 75 mL de una solución de NaOH al 17.5%. Comenzar a tomar tiempo.
3. Agitar de manera vigorosa durante 3 min.
4. Añadir 25 mL de la solución de NaOH al 17.5%. Mantener la mezcla a 20 °C
5. Adicionar 100 mL de agua desionizada transcurrido 30 min de la primera adición de NaOH al 17.5%
6. Dejar a reposar a 20 °C durante 30 min más.
7. Filtrar la solución

d) Cálculos

Los cálculos se llevan a cabo a partir de la siguiente ecuación:

$$\alpha - \text{celulosa} = \left[\frac{W_{\text{holocelulosa}}}{W_{\text{celulosa}}} * \frac{\% \text{HOL}}{100} \right] \quad \text{Ecuación 6}$$

$W_{\text{holocelulosa}}$ = Peso del residuo de holocelulosa, g

W_{celulosa} = Peso del residuo de celulosa, g

%HOL= Porcentaje de holocelulosa

6.4 Determinación de hemicelulosa

La hemicelulosa es un polisacárido constituido por azúcares del tipo hexosa y pentosa, siendo las pentosas las de mayor relevancia por la proporción en que se encuentran (Mariani, 2000).

a) Cálculos

El contenido en hemicelulosa se calcula por diferencia entre el contenido de holocelulosa y de celulosa. Tortosa G (2014). Los cálculos se llevan a cabo a partir de la siguiente ecuación:

$$\%Hemicelulosa = \% holocelulosa - \% celulosa \quad \text{Ecuación 7}$$

6.5 Determinación de lignina insoluble en ácido

La muestra libre de extraíbles es tratada con solución de ácido sulfúrico al 72 % para hidrolizar la celulosa y hemicelulosa, la lignina y los minerales insolubles en el ácido, son filtrados, se calcinan para determinar los minerales y el residuo corresponde a la lignina. La determinación de lignina insoluble se basa en la norma T 22 OM-98.

a) Material y equipo

Vaso de precipitado 2500 mL, varilla de agitación, balanza analítica, horno de convección, baño de Agua a 20°C, equipo de filtración, desecador, matraz erlenmeyer 1000 mL, probetas, placa de calentamiento.

b) Reactivos

Ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72%, agua desionizada.

c) Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra libre de extraíbles en un vaso de precipitados de 100 mL
2. Agregar 15 mL de H₂SO₄ al 72%, macerando el material con una varilla de vidrio.
3. Reposar la mezcla durante 2 h a 20° C.
4. Transvasar el contenido a un matraz de 1000 mL y añadir 560 mL de agua desionizada.
5. Colocar el matraz a ebullición suave (a 80° C) durante 4 h.
6. Dejar sedimentar el sólido y separar en un filtro Gooch, previamente tarado.
7. Lavar el sólido filtrado con agua destilada caliente hasta alcanzar un pH cercano al neutro.
8. Secar el sólido en horno de convección a 60 °C durante 18 h.
9. Dejar enfriar en el desecador y pesar.

- Determinar el contenido de cenizas y sólidos totales del residuo obtenido de acuerdo con el procedimiento descrito de este manual.

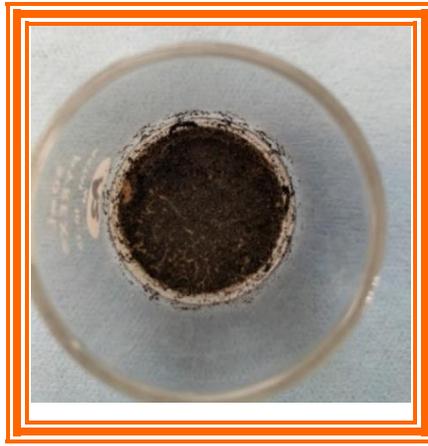


Figura 15. Fracción de lignina, bagazo de caña de azúcar

Referencia: Imagen propia

d) Cálculos

Los cálculos se llevan a cabo a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ lignina insoluble en ácido} = \frac{W_2 - W_3}{W_1 \times \frac{T_{\text{final}}}{100}} \times 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

W_1 = Peso de muestra inicial.

W_3 = Peso de crisol y ceniza insoluble en ácido

W_2 = Peso de crisol, lignina insoluble, y ceniza.

T_{final} = % del contenido de sólidos totales

6.6 Determinación de cenizas y materia orgánica

Las cenizas contienen los compuestos inorgánicos de las especies esenciales para el crecimiento. Sus componentes principales son sales de calcio, magnesio, potasio y en menor grado hierro. Los aniones más importantes: carbonato, fosfato, silicato y en algunas especies oxalato. (Fengel y Wegener, 1989). Las cenizas permanecen como residuo luego de la combustión y calcinación (500°C) de la materia orgánica de los vegetales o alimentos. La determinación de cenizas presente en la biomasa se realiza en base al método gravimétrico reportado en la Norma ASTM E 17 55.



Figura 16. Cenizas de bagazo de caña de azúcar

Fuente: imagen propia

a) Material y Equipo

Mufla, crisol de porcelana, horno de convección, desecador, balanza analítica, pinzas para crisol.

b) Procedimiento

1. Determinar el peso constante del crisol. colocando el crisol en la mufla a $500 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 4 h.
2. Pesar 1 g de muestra en el crisol. Colocar el crisol en la mufla a 500°C durante 4 h.
3. Concluido el tiempo, dejar enfriar la temperatura del crisol colocándolo en el horno de convección a 100°C .
4. Colocar el crisol en el desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Pesar el crisol.
5. Determinar el contenido de cenizas por gravimetría

c) Cálculos

Los cálculos se llevan a cabo a partir de la ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_1 - W_2}{W_3} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

W_1 = Peso de la cápsula sin muestra (g)

W_3 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la cápsula con muestra (g)

La Materia orgánica (% M.O) se calcula a partir de la ecuación:

$$\% \text{ M.O} = 100 - \% \text{ Cenizas} \quad \text{Ecuación 10}$$

7 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La caracterización física de la caña de azúcar tiene como principal objetivo la correlación del diámetro y longitud de las varillas de caña y la cantidad de jugo extraído.

Cada varilla tuvo que ser medida en diámetro y longitud (cm) y pesada (Kg). Posteriormente a la medición de cada varilla de caña, se pasó al proceso de extracción a través del trapiche, donde fue necesario calcular la densidad del jugo para tener la relación de peso y volumen y pesar la cantidad de bagazo generado en la molienda, estos datos servirán para establecer si existe relación en la productividad de la caña de acuerdo con el tamaño.

7.1 Dimensiones de la caña de azúcar

a) Material y equipo

Balanza, vernier, flexómetro, jarra volumétrica de 5 L, probeta de 1 L.

b) Procedimiento

1. Muestreo por triplicado de un lote de 250 kg de la caña de azúcar.
2. Por varilla, medir y anotar diámetro y altura.
3. Por varilla, registrar el peso.
4. Una vez caracterizados, por lotes pasar al proceso de extracción de jugo en el Trapiche,
5. Medir el volumen de jugo extraído.
6. Obtener la densidad de jugo.

c) Cálculos

1. Identificar los diámetros característicos del cultivo.
2. Obtener el promedio de diámetros,
3. Identificar la altura característica del cultivo.
4. Obtener el promedio de las alturas.
5. Obtener los rendimientos del jugo extraído, respecto al lote de caña molido.

7.2 Densidad

a) Material y equipo

Espátula, varilla de vidrio, embudo, cuchara, probeta de 500 mL de capacidad, balanza.

b) Procedimiento

1. Pesar la probeta vacía anotando el resultado (G1).
2. Medir el volumen de la probeta.

3. Homogenizar la muestra perfectamente usando la varilla
4. Verter en la probeta con ayuda del embudo, de manera que la muestra llene la probeta hasta derramar.
5. Enrasar con la ayuda de la varilla de vidrio al nivel de la probeta
6. Pesar la probeta con la muestra y anotar el resultado (G2)

c) Cálculos

$$D_a = \frac{G_2 - G_1}{V} \qquad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Da es la densidad aparente en g/mL.

G1 es el peso de la probeta vacía, en g

G2 es el peso de la probeta con la muestra homogeneizada de carbón, en g

V Volumen de la probeta hasta el enrase, en mL

7.3 Humedad

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía (De Lucas y Del Peso, 2012).

La determinación de humedad y sólidos totales se basa en la norma LAP 001. La prueba se debe realizar inmediatamente después de recolectar la muestra, para que los factores ambientales no afecten o modifiquen el contenido de humedad presente en la muestra.

a) Material y equipo

Horno de convección, horno de vacío, balanza analítica, cápsulas de porcelana, desecador.

b) Procedimiento

1. Determinar el peso constante de la cápsula de porcelana, colocando la cápsula en el horno de convección a $103 \pm 1^\circ \text{C}$ durante 24 h
2. Pesar en la cápsula de porcelana 2 g de muestra.
3. Colocar la cápsula de porcelana en el horno de convección a $103 \pm 1^\circ \text{C}$ durante 24 h.
4. Nota: en muestras que presentan reacción de caramelizarían de azúcares y deterioro de otras moléculas, realizar la determinación en horno de vacío a 60°C durante 24 h.
5. Colocar la cápsula de porcelana en el desecador por 15 min.

6. Pesar la cápsula de porcelana

c) Cálculos

Los cálculos se llevan a cabo a partir de la siguiente ecuación:

Contenido de humedad %H

$$\%H = \left[\frac{W_i - W_f}{W_i - W_c} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

W_c = Peso constante de la cápsula de porcelana (g)

W_i = Peso inicial de la muestra (g)

W_f = Peso final de la muestra (g)

Solidos totales ST

$$ST = 100 - \%H \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$$\%H = \text{contenido de humedad} \quad \text{Ecuación 14}$$

7.4 Distribución de partícula

La cantidad de cada partícula presentes se conoce como distribución de partículas por tamaño. La medición de la textura en la caracterización del bagazo de caña indica sólo aproximadamente la cantidad de cada grupo de partículas que hay en una muestra.



Figura 17. Proceso de tamizado

Fuente: Imagen propia

a) Material y equipo

Espátula, tazón, charolas de aluminio, bolsas para almacenar muestra, tamizador marca AMF, tamices de diferentes aberturas, balanza analítica

b) Procedimiento

1. Pesar 50 gramos de muestra libre de humedad, en una charola de aluminio.
2. Hacer pasar la muestra a través de tamices con aberturas entre 1 y 0.05 mm en orden decreciente.
3. Cuando la agitación se realiza de manera manual, es necesario replicar el movimiento y el tiempo de agitación para cada tamiz.
4. Registrar el peso de la muestra que es retenida en cada tamiz.
5. Registrar el peso de la muestra que pasa en cada tamiz.

8 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN TÉRMICA

8.1 Calorimetría

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

a) Preparación de la muestra

La muestra de bagazo se pulveriza y se le mide el porcentaje de humedad. Después se pesan aproximadamente 0.5 g y se comprime en forma de pastilla, utilizando una prensa pastilladora. Posteriormente se pesa para obtener la masa de la pastilla a calcinar.

b) Operación del calorímetro.

Se utilizó un Calorímetro de Combustión Parr 6300 que contiene una bomba calorimétrica donde se lleva a cabo la reacción, la cual fue previamente calibrada por medio de una muestra de poder calorífico conocida (ácido benzoico).

El procedimiento que se describe a continuación se realizó por triplicado en cada muestra para obtener resultados significativos.

1. Se emplean 10 cm de alambre de ignición el cual se coloca en electrodos ubicados en la parte inferior de la cabeza de la bomba.
2. Se colocar la cápsula con muestra (la pastilla) en la cabeza de la bomba. • Debe cuidarse que el alambre de ignición toque la muestra
3. Se agregar 1 mL de agua destilada a la bomba. Esta sirve para absorber gases, contribuyendo a reducir corrosión y presión. Y se sella perfectamente.
4. Se presuriza a 25 atm con oxígeno a baja velocidad para evitar accidentes.
5. Se sumerge la bomba en la tina del calorímetro que contiene dos litros de agua como medio de transferencia de calor.
6. Se tapa el calorímetro y se registra el cambio de temperatura respecto al tiempo previo a la ignición, durante la combustión y después de alcanzar la temperatura máxima.
7. Una vez que se alcanza la temperatura máxima y el sistema se estabiliza, se apaga el calorímetro y se desarma la bomba, cuidando de despresurizar lentamente y evitar cualquier accidente.
8. Para cuantificar la cantidad de residuos generados distintos a la combustión completa de la muestra, se realizan de dos a tres lavados de la bomba y los residuos se titulan con hidróxido de sodio.
9. Se mide la cantidad de alambre de ignición no quemado para calcular la energía total liberada de este.

8.2 TPD

La caracterización de las muestras BCA se realizaron en un equipo de microrreacción ICID. El equipo se controla mediante un programa en LabView 7.1, el cual facilita la adquisición y la representación gráfica de datos experimentales.

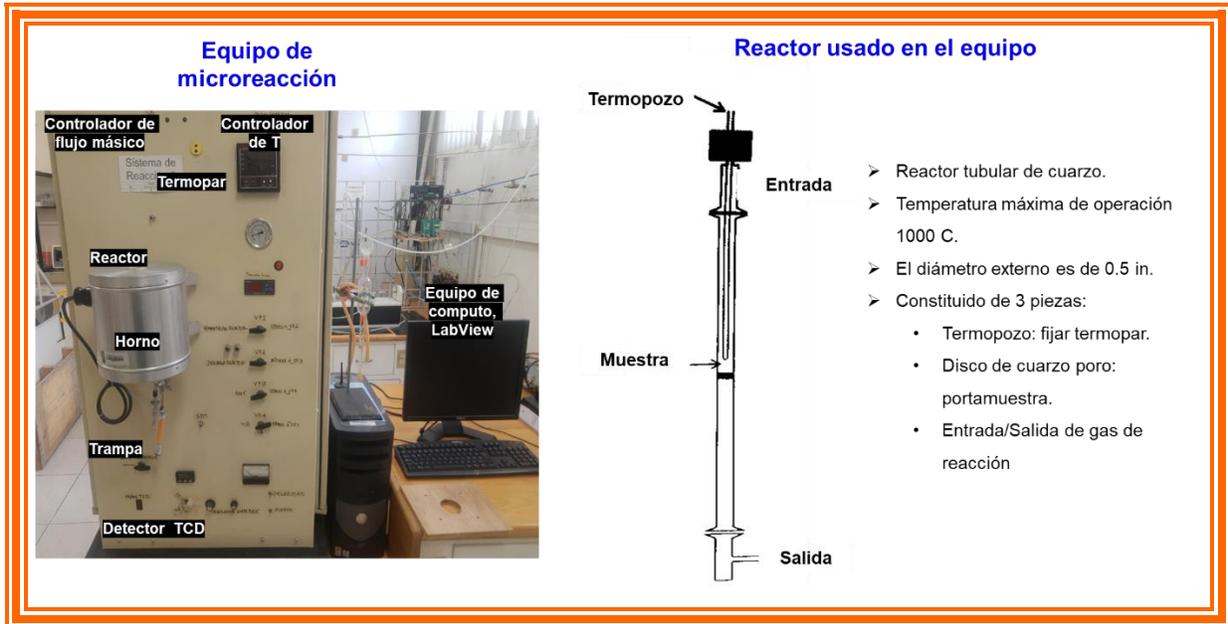


Figura 18. Equipo de microrreacción ICID.

Fuente: imagen propia

a) Procedimiento

1. Colocar 0.03 g de muestra en un reactor de cuarzo que, a su vez, se coloca dentro de un horno.
2. Se hace fluir $30 \text{ cm}^3/\text{min}$ de helio a través del reactor y la descarga de este se conecta al sistema de análisis.
3. A un tiempo inicial, la temperatura del horno se eleva de manera lineal, de 30°C a 900°C . La temperatura se controla mediante un controlador Chromalox 2104. La velocidad de calentamiento es de $10^\circ\text{C}/\text{min}$.
4. Durante el experimento, se monitorean continuamente la temperatura del set point del controlador y la temperatura que mide el termopar. La temperatura registrada durante el experimento es idealmente la temperatura real de la muestra. Esta temperatura se mide colocando un termopar lo más cerca posible de la muestra.
5. El consumo de He se monitorea a la descarga del reactor mediante un detector de conductividad térmica, con una corriente de 80 mA.

6. Los datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la señal del detector conductividad térmica (u.a.) se colectan electrónicamente usando un programa en LabView 7.1. Esta información se muestra gráficamente en tiempo real y permite recopilar los datos al final del experimento.
7. Posteriormente, se usa el software PeakFit para ajustar la señal del termograma y para calcular el área de cada uno de los picos en el mismo. Para este propósito, el perfil del termograma se ajusta mediante un algoritmo de Levenberg-Marquardt, utilizando funciones gaussianas propuestas por el usuario; este ajuste implica un método iterativo de estimación de parámetros por mínimos cuadrados.
8. Además, la descarga del reactor se conectó a un cromatógrafo de gases con un detector de conductividad térmica y una columna HP-Plot-Q para analizar CO y CO_2 desorbido por las diferentes muestras a las diferentes temperaturas. El análisis cromatográficos de los gases desorbidos se hace cada tres min (tiempo aproximado de cada análisis).

9 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO: JUGO Y PILONCILLO

9.1 Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa

El fundamento de la técnica consiste en contar las colonias, que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio. El método admite numerosas fuentes de variación, algunas de ellas controlables, pero sujetas a la influencia de varios factores

a) Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan, deben ser grado analítico. Cuando se indique agua, debe entenderse agua destilada, con pH cercano a la neutralidad.

Medio de Cultivo: Agar Triptona-Extracto de Levadura (agar para cuenta estándar).

FORMULA	
INGREDIENTES	CANTIDADES
Extracto de levadura	2.5 g
Triptona	5.0 g
Dextrosa	1.0 g
Agar	15.0 g
Agua	1.0 L

b) Preparación del medio de cultivo.

Suspender los componentes del medio deshidratado en un litro de agua. Hervir hasta total disolución. Distribuir en recipientes de vidrio esterilizables de capacidad no mayor de 500 mL, cantidades de aproximadamente la mitad del volumen de este. Esterilizar en autoclave a 121 ± 1.0 °C, durante 15 min. El pH final del medio debe ser 7.0 ± 0.2 a 25°C. Si el medio de cultivo es utilizado inmediatamente, enfriar a $45^\circ\text{C} \pm 1.0$ °C en baño de agua y mantenerlo a esta temperatura hasta antes de su uso. El medio no debe de fundirse más de una vez. En caso de medios deshidratados seguir las instrucciones del fabricante.

El medio de cultivo anterior es el de uso más generalizado. Para algunos alimentos en particular se requerirá de un medio de cultivo especial que se debe indicar al describir la técnica para ese alimento.

c) Material y equipo

Todo el material que tenga contacto con las muestras o los microorganismos debe estar estéril. Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de $\pm 1.0^\circ\text{C}$, provista con termómetro calibrado. Contador de colonias de campo obscuro, con luz adecuada, placa de cristal cuadrículada y lente amplificador. Registrador mecánico o electrónico. Microscopio óptico. Baño de agua con o sin circulación

mecánica, provista con termómetro calibrado con divisiones de hasta 1.0 C y que mantenga la temperatura a 45 ± 1.0 C.

d) Procedimiento

1. Distribuir las cajas estériles en la mesa de trabajo de manera que la inoculación; la adición de medio de cultivo y homogenización, se puedan realizar cómoda y libremente.
2. Marcar las cajas en sus tapas con los datos pertinentes previamente a su inoculación y correr por duplicado.
3. Después de inocular las diluciones de las muestras preparadas según la NOM-110-SSA1-1994.
4. En las cajas Petri, agregar de 12 a 15 mL del medio preparado, mezclarlo mediante 6 movimientos de derecha a izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás a adelante, sobre una superficie lisa y horizontal hasta lograr una completa incorporación del inóculo en el medio; cuidar que el medio no moje la cubierta de las cajas. Dejar solidificar.
5. Incluir una caja sin inóculo por cada lote de medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad.
6. El tiempo transcurrido desde el momento en que la muestra se incorpora al diluyente hasta que finalmente se adiciona el medio de cultivo a las cajas, no debe exceder de 20 min.
7. Incubar las cajas en posición invertida (la tapa hacia abajo) por el tiempo y la temperatura que se requieran, según el tipo de alimento y microorganismo de que se trate.
8. En la lectura seleccionar aquellas placas donde aparezcan entre 25 a 250 UFC, para disminuir el error en la cuenta.
9. Contar todas las colonias desarrolladas en las placas seleccionadas (excepto las de mohos y levaduras), incluyendo las colonias puntiformes. Hacer uso del microscopio para resolver los casos en los que no se pueden distinguir las colonias de las pequeñas partículas de alimento.

Tabla 16. Registro de datos de temperatura y tiempo de incubación para cada grupo bacteriano

Grupo Bacteriano	Temperatura	Tiempo de Incubación
Termofílicos aerobios	$55 \pm 2^{\circ}\text{C}$	48 ± 2 h
Mesofílicos aerobios	$35 \pm 2^{\circ}\text{C}$	48 ± 2 h
Psicrotróficos	$20 \pm 2^{\circ}\text{C}$	3 - 5 días
Psicrofílicos	$5 \pm 2^{\circ}\text{C}$	7 - 10 días

e) Cálculos

Después de la incubación, contar las placas que se encuentren en el intervalo de 25 a 250 colonias, usando el contador de colonias y el registrador. Las placas de al menos una de tres diluciones deben estar en el intervalo de 25 a 250. Calcular la cuenta promedio por gramo o mililitro de dicha dilución y reportar. Cuando dos diluciones están en el intervalo apropiado, determinar la cuenta promedio dada por cada dilución antes de promediar la cuenta de las dos diluciones para obtener la cuenta en placa por gramo o mililitro.

f) Informe de la prueba

Reportar como: Unidades formadoras de colonias, ___ UFC/g o mL, de bacterias aerobias en placa en agar triptona extracto de levadura o agar para cuenta estándar, incubadas _____ h a _____ °C.

9.2 Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa

El método permite determinar el número de microorganismos coliformes presentes en una muestra, utilizando un medio selectivo (agar rojo violeta bilis) en el que se desarrollan bacterias a 35°C en aproximadamente 24 h, dando como resultado la producción de gas y ácidos orgánicos, los cuales viran el indicador de pH y precipitan las sales biliares.

a) Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan, deben ser grado analítico y cuando se indique agua debe entenderse como agua destilada.

- **Soluciones diluyentes**
- **Solución reguladora de fosfatos (solución concentrada)**

Fórmula de solución reguladora	
Ingredientes	Cantidades
Fosfato monopotásico	34 g
Agua	1.0 L

Preparación:

Disolver el fosfato en 500 mL de agua y ajustar el pH a 7.2 con solución de hidróxido de sodio 1.0 N. Llevar con agua a 1 L. Esterilizar a 121± 1.0°C durante 15 min. Conservar en refrigeración (solución concentrada). Tomar 1.25 mL de la solución concentrada y llevar a un litro con agua (solución de trabajo). Distribuir en porciones de 99.90 y 9 mL según se requiera. Esterilizar durante 15 min a 121± 1.0°C. Después de la esterilización, el pH y los volúmenes finales de la solución de trabajo deben ser iguales a los iniciales.

Fórmula de agua peptonada	
Ingredientes	Cantidades
Peptona	1.0 g
Cloruro de sodio	8.5 g
Agua	1.0 L

Preparación:

Disolver los componentes en un litro de agua. Ajustar el pH a 7.0 con hidróxido de sodio 1.0 N. Distribuir en porciones de 99, 90 y 9 mL o en cualquier volumen múltiplo de nueve según se requiera. Esterilizar durante 15 min a $121 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$. Después de la esterilización, los volúmenes finales de la solución de trabajo deben ser iguales a los iniciales. Si este diluyente no es usado inmediatamente, almacenar en lugar obscuro a una temperatura entre 0 a 5°C por un tiempo no mayor de un mes, en condiciones tales que no alteren su volumen o composición.

- **Medio de cultivo: Agar-rojo- violeta-bilis-lactosa (RVBA)**

Fórmula del cultivo agar rojo	
Ingredientes	Cantidades
Peptona	7.0 g
Extracto de levadura	3.0 g
Lactosa	10.0 g
Sales biliares	1.5 g
Cloruro de sodio	5.0 g
Rojo neutro	0.03 g
Cristal violeta	0.002 g
Agar	15.0 g
Agua	1.0 L

Preparación:

Mezclar los componentes en el agua y dejar reposar durante algunos min. Mezclar perfectamente y ajustar el pH a 7.4 con ácido clorhídrico 0.1N o con hidróxido de sodio 0.1N a 25°C , de forma que después del calentamiento se mantenga en este valor. Calentar con agitación constante y hervir durante 2 min. Enfriar inmediatamente el medio en un baño de agua hasta que llegue a 45°C . Evitar el sobrecalentamiento del medio. No debe esterilizarse en autoclave. Usar el medio dentro de las tres primeras horas después de su preparación. En el caso de utilizar medio de cultivo deshidratado, seguir las instrucciones del fabricante.

b) Material y equipo

Pipetas bacteriológicas para distribuir 10 y 1 mL (o si es necesario de 11 y 2 mL), con tapón de algodón. Frascos de vidrio de 250 mL con tapón de rosca. Tubos de 16 X 150 mm con tapón de rosca. Utensilios esterilizables para la obtención de muestras: cuchillos, pinzas, tijeras, cucharas, espátulas, etc. Cajas Petri. Todo el material e instrumentos que tengan contacto con las muestras bajo estudio debe esterilizarse mediante: Horno, durante 2 h a 170 - 175°C, o 1 h a 180°C; o en autoclave, durante 15 min como mínimo a $121 \pm 1.0^\circ\text{C}$. Horno para esterilizar que alcance una temperatura mínima de 170°C. Autoclave con termómetro y manómetro, calibrada con termómetro de máximas y mínimas. Baño de agua con control de temperatura y circulación mecánica, provista con termómetro calibrado con divisiones de 0.1°C y que mantenga la temperatura a $45 \pm 1.0^\circ\text{C}$. Licuadora de una o dos velocidades controladas por un reóstato o bien un homogeneizador peristáltico (Stomacher). Vasos para licuadora con tapa esterilizables o bolsas estériles para homogeneizador peristáltico. Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de $\pm 1.0^\circ\text{C}$, provista con termómetro calibrado. Contador de colonias de campo oscuro, con luz adecuada, placa de cristal cuadrículada y lente amplificador. Registrador mecánico o electrónico. Microscopio óptico. Potenciómetro con una escala mínima de 0.1 unidades de pH a 25°C .

c) Procedimiento

1. Colocar en cajas Petri por duplicado 1 mL de la muestra líquida directa o de la dilución primaria, utilizando para tal propósito una pipeta estéril.
2. Repetir el procedimiento tantas veces como diluciones decimales se requiera sembrar, utilizando una pipeta estéril diferente para cada dilución.
3. Vertir de 15 a 20 mL del medio RVBA fundido y mantenido a $45 \pm 1,0^\circ\text{C}$ en baño de agua. En el caso de utilizar cajas de Petri de plástico se vierte de 10 a 15 mL del medio. El tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución primaria y el momento en que se vierte el medio de cultivo, no debe exceder de 20 min.
4. Mezclar cuidadosamente el inóculo con el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis movimientos en el sentido de las manecillas del reloj, seis movimientos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa y nivelada. Permitir que la mezcla solidifique dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría.
5. Preparar una caja control con 15 mL de medio para verificar la esterilidad.
6. Después de que está el medio completamente solidificado en la caja, verter aproximadamente 4 mL del medio RVBA a $45 \pm 1,0^\circ\text{C}$ en la superficie del medio inoculado. Dejar que solidifique.
7. Invertir las placas y colocarlas en la incubadora a 35°C , durante 24 ± 2 horas.

8. Después del periodo especificado para la incubación, contar las colonias con el contador de colonias.
9. Seleccionar las placas que contengan entre 15 y 150 colonias. Las colonias típicas son de color rojo oscuro, generalmente se encuentran rodeadas de un halo de precipitación debido a las sales biliares, el cual es de color rojo claro o rosa, la morfología colonial es semejante a lentes biconvexos con un diámetro de 0,5 a 2,0 mm

d) Cálculos

1. Placas que contienen entre 15 y 150 colonias características. Separar las placas que contienen el número antes mencionado de colonias características en dos diluciones consecutivas. Contar las colonias presentes. Calcular el número de coliformes por mililitro o por gramo de producto, multiplicando el número de colonias por el inverso de la dilución correspondiente, tomando los criterios de la NOM-092-SSA1-1994. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa.
2. Placas que contienen menos de 15 colonias características. Si cada una de las placas tiene menos de 15 colonias características, reportar el número obtenido seguido de la dilución correspondiente.
3. Placas con colonias no características. Si en las placas no hay colonias características, reportar el resultado como: menos de un coliforme por 1/d por gramo, en donde d es el factor de dilución.

9.3 Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

El método se basa en inocular una cantidad conocida de muestra de prueba en un medio selectivo específico, acidificado a un pH 3,5 e incubado a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, dando como resultado el crecimiento de colonias características para este tipo de microorganismos.

a) Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser de grado analítico y cuando se indique agua debe entenderse como agua destilada.

- Medios de cultivo: Agar papa - dextrosa, comercialmente disponible en forma deshidratada. Seguir instrucciones del fabricante y después de esterilizar, enfriar en baño de agua a $45 \pm 1^\circ\text{C}$, acidificar a un pH de $3,5 \pm 0,1$ con ácido tartárico estéril al 10% (aproximadamente 1,4 mL de ácido tartárico por 100 mL de medio). Después de adicionar la solución, mezclar y medir el pH con potenciómetro. Dejar solidificar una porción del medio. Hacer esto en cada lote de medio preparado. A fin de preservar las propiedades gelificantes del medio, no calentar después de agregar el ácido tartárico.
- Solución reguladora de fosfatos (solución concentrada).

Fórmula de solución concentrada de fosfatos
--

Ingredientes	Cantidades
Fosfato de potasio monobásico	34 g
Agua	1,0 L

Preparación: disolver el fosfato en 500 mL de agua y ajustar el pH a 7,2 con hidróxido de sodio 1 N. Llevar a 1,0 l de agua. Esterilizar a 121°C durante 15 min. Conservar en refrigeración (solución concentrada). Tomar 1,25 mL de la solución concentrada y llevar a 1 L con agua (solución de trabajo). Distribuir en porciones de 99, 90 y 9 mL, según se requiera. Esterilizar a $121 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 15 min.

- Solución estéril de ácido tartárico al 10%

Fórmula de solución estéril de ácido tartárico	
Ingredientes	Cantidades
Ácido tartárico	10,0 g
Agua	100,0 mL

Preparación: disolver el ácido en el agua y esterilizar a $121 \pm 1.0^\circ\text{C}$ por 15 min o por filtración a través de membrana de 0.45 μm .

b) Material y equipo

Pipetas bacteriológicas para distribuir 10 y 1 mL (o si es necesario de 1 mL y 2 mL), con tapón de algodón. Cajas Petri. Frascos de vidrio de 250 mL con tapón de rosca. Tubos de 16 x 150 mm con tapón de rosca. Utensilios esterilizables para la obtención de muestras: cuchillos, pinzas, tijeras, cucharas, espátulas, etc. Horno para esterilizar que alcance una temperatura mínima de 170°C. Incubadora con termostato que pueda ser mantenido a $25 \pm 1.0^\circ\text{C}$ provista con termómetro calibrado. Autoclave que alcance una temperatura mínima de $121 \pm 1.0^\circ\text{C}$.

Baño de agua con control de temperatura y circulación mecánica, provista con termómetro calibrado con divisiones de 0.1°C y que mantenga la temperatura a $45 \pm 1.0^\circ\text{C}$. Contador de colonias de campo oscuro, con luz adecuada, placa de cristal cuadrículada y lente amplificador. Registrador mecánico o electrónico. Microscopio óptico. Potenciómetro con una escala mínima de 0.1 unidades de pH a 25 °C.

Todo el material e instrumentos que tengan contacto con las muestras bajo estudio, deben esterilizarse mediante horno, durante 2 h de 170 a 175°C o por 1h a 180°C o autoclave, durante 15 min como mínimo a $121 \pm 1.0^\circ\text{C}$.

c) Procedimiento

1. Colocar por duplicado en cajas Petri 1 mL de la muestra líquida directa o de la dilución primaria, utilizando para tal propósito una pipeta estéril.
2. Repetir el procedimiento tantas veces como diluciones decimales se requiera sembrar, utilizando una pipeta estéril diferente para cada dilución.
3. Verter de 15 a 20 mL de agar papa dextrosa acidificado, fundido y mantenido a 45 ± 1 °C en un baño de agua. El tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución primaria y el momento en que es vertido el medio de cultivo, no debe exceder de 20 min.
4. Mezclar cuidadosamente el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis en el sentido de las manecillas del reloj, seis en el sentido contrario y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa. Permitir que la mezcla se solidifique dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría. Preparar una caja control con 15 mL de medio, para verificar la esterilidad.
5. Invertir las cajas y colocarlas en la incubadora a 25 ± 1 °C.
6. Contar las colonias de cada placa después de 3, 4 y 5 días de incubación. Después de 5 días, seleccionar aquellas placas que contengan entre 10 y 150 colonias. Si alguna parte de la caja muestra crecimiento extendido de mohos o si es difícil contar colonias bien aisladas, considerar los conteos de 4 días de incubación y aún de 3 días. En este caso, informar el periodo de incubación de 3 o 4 días en los resultados del análisis.
7. Si es necesario, cuando la morfología colonial no sea suficiente, examinar microscópicamente para distinguir las colonias de levaduras y mohos de las bacterias.

d) Cálculos

Considerar las cuentas de placas con 10 a 150 colonias como las adecuadas para el informe. Multiplicar por el inverso de la dilución, tomando en consideración los criterios de la NOM-092-SSA1-1994. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa, para la expresión de resultados.

e) Informe de la prueba

- Unidades formadoras de colonias por gramo o mililitro (UFC/g o mL) de mohos en agar papa - dextrosa acidificado, incubadas a 25 ± 1 °C durante 5 días.
- Unidades formadoras de colonias por gramo o mililitro (UFC/g o mL) de levaduras en agar papa-dextrosa acidificado, incubadas a 25 ± 1 °C durante 5 días.

10 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICAS

10.1 Determinación de azúcares reductores

La información sobre el contenido de azúcares en los alimentos es parte del etiquetado nutricional obligatorio en la normativa mexicana. Este etiquetado permite a los consumidores comparar productos y tomar decisiones conscientes sobre su dieta.

a) Material y equipo

Matraz de aforación de 25 mL, matraz Erlenmeyer de 50 mL, soporte universal, barra magnética, bureta, balanza analítica, placa de calentamiento.

b) Reactivos

Indicador de azul de metileno 0.25%, reactivo de Fehling-Soxhlet (A y B)

*NOTA: Para la preparación de reactivos leer instructivo de preparación.

c) Procedimiento

Preparación de la muestra

1. Pesar 1.25 g de muestra y aforar a 25 mL (dilución al 5%) y aforar con agua destilada (si la muestra presenta sólidos o sedimentos es necesario filtrar).
2. Afore una bureta de 10 mL con la solución que preparó previamente.
3. En un matraz Erlenmeyer de 50 mL, agregar: 1 mL del reactivo "A" y 1 mL del reactivo "B" de Fehling-Soxhlet (cada reactivo se mide con pipeta diferente), después añada 5 mL de agua destilada y 1 gota de indicador azul de metileno al 0.25%.
4. Poner en calentamiento el matraz Erlenmeyer que preparó con la solución de Fehling- Soxhlet hasta ebullición constante, encender la agitación y comience a titular gota a gota hasta un vire rojo ladrillo. NOTA: La solución debe estar siempre en ebullición mientras se titula.
5. Registrar el volumen gastado y realice el cálculo correspondiente

NOTA: Colocar los residuos generados (de la titulación) en el frasco ámbar etiquetado como residuos de F-S. El residuo orgánico se tira en la tarja en caso de ser líquido, y en una bolsa de plástico fuera del laboratorio si es sólido.

10.2 Determinación de carbohidratos totales

Determinar el contenido de carbohidratos en los alimentos es esencial por varias razones relacionadas con la salud y la nutrición. Los carbohidratos en los alimentos son esencial para la gestión de la energía, el control de la diabetes, la planificación de la dieta, el rendimiento deportivo y la toma de decisiones informadas sobre la nutrición.

a) Material y equipo

Matraz de aforación de 25 mL, Matraz Erlenmeyer de 50 mL, Soporte universal, Matraz de aforación de 50 mL, Barra magnética, Bureta, Tiras de papel indicador de pH, Varilla de reflujo, Balanza analítica, Placa de calentamiento.

b) Reactivos

HCl concentrado, NaOH al 10%, NaOH al 20 %, Indicador de azul de metileno 0.25%, Reactivo de Fehling-Soxhlet (A y B)

*NOTA: Para la preparación de reactivos leer instructivo de preparación.

c) Procedimiento

1. Pesar 1.25 g de muestra y aforar a 25 mL (dilución al 5%) y aforar con agua destilada (si la muestra presenta sólidos o sedimentos es necesario filtrar).
2. Pasar los 25 mL a un matraz Erlenmeyer de 50 mL y agregar 1 mL de HCl concentrado, tapar con un refrigerante de reflujo y llevar a ebullición durante 1 hora para realizar la hidrólisis de carbohidratos no reductores.
3. Después de la hidrólisis, enfriar y neutralizar con NaOH al 20% gota a gota y como se va acercando a la neutralidad se sigue con NaOH al 10% hasta un pH=7 (verificando con tiras de pH en cada adición de NaOH).
4. Una vez neutralizado, se trasvasa a un matraz aforado de 50 mL y se afora con agua destilada (Si presenta sólidos o sedimento es necesario aforar)
5. Aforar una bureta de 10 mL con la solución hidrolizada y aforada.
6. En un matraz Erlenmeyer de 50 mL, agregar: 1 mL del reactivo "A" y 1 mL del reactivo "B" de Fehling-Soxhlet (cada reactivo se mide con pipeta diferente), después añada 5 mL de agua destilada y 1 gota de indicador azul de metileno al 0.25%.
7. Poner en calentamiento el matraz Erlenmeyer que preparó con la solución de Fehling- Soxhlet hasta ebullición constante, encender la agitación y comience a titular gota a gota hasta un vire rojo ladrillo. NOTA: La solución debe estar siempre en ebullición mientras se titula.
8. Registrar el volumen gastado y realice el cálculo correspondiente.

10.3 Determinación de grasa: método de soxhlet

Las grasas son una fuente concentrada de energía. Conocer la cantidad de grasas en los alimentos es esencial para mantener un equilibrio adecuado de calorías en la dieta y para proporcionar la energía necesaria para las funciones diarias del cuerpo. La información sobre el contenido de grasas es parte importante del etiquetado nutricional en los alimentos procesados, permitiendo a los consumidores tomar decisiones informadas sobre sus elecciones alimenticias.

a) Material

Equipo soxhlet, Matraz balón, Dedales o cartuchos para extracción, Pinzas para soporte universal, Soporte universal, Bomba de recirculación, Mangueras de látex, Guantes, Placa de calentamiento, Estufa, Desecador, Balanza analítica.

b) Reactivos

Éter etílico o Hexano

c) Procedimiento

1. Llevar el matraz balón a peso constante y registrar dicho dato.

NOTA: Una vez que el matraz ya se encuentra a peso constante ya no se puede manipular con las manos solo con pinzas.

2. Pesarse el dedal o cartucho y anotar el peso, colocar un poco de algodón en la parte superior del cartucho para evitar que la muestra se tire
3. Introducir el dedal o cartucho con la muestra al sifón del soxhlet y colocar el sifón con la muestra sobre el matraz balón previamente pesado y colocar sobre una placa de calentamiento.
4. Agregar el solvente por la parte superior del sifón hasta que baje al matraz balón.
5. En la parte superior del sifón colocar el refrigerante y hacer circular agua fría por el mismo.
6. Mantener a calentamiento suave hasta que el solvente suba nuevamente al sifón y regrese nuevamente al matraz (repetir esto las veces que sea necesario hasta que la grasa ya haya sido arrastrada totalmente por el solvente y se haya depositado al matraz) aprox. 4 h
7. Dependiendo de la cantidad de grasa que pueda estar presente en la muestra es recomendable recircular el solvente más tiempo hasta 6 u 8 h
8. Para verificar si la muestra aún tiene grasa, tome una gota de solvente con grasa y colóquela en un pedazo de papel filtro y espere a que se seque el papel filtro y obsérvelo a contraluz, si se nota una mancha de grasa, indica que aún hay grasa en la muestra y hay que seguir recirculando el solvente.
9. Una vez transcurrido el tiempo y que se haya extraído la grasa por completo de la muestra, retirar el refrigerante y retirar la cámara del matraz (recuperando el solvente que haya quedado en esta).
10. El matraz balón con grasa y solvente se deja en la placa de calentamiento a unos 80°C hasta que se evapore todo el residuo de solvente de la muestra
11. Pesarse el matraz balón con grasa y registrar el peso. NOTA: manipular el matraz con pinzas.

El análisis de perfil de ácidos grasos es realizado por cromatografía de gases en un cromatógrafo Agilent 7890 empleando columna capilar y siguiendo la técnica oficial AOCS Ce 1f-96.

La Fibra dietética total se determina por una combinación de los métodos 985.29 y 991.43 de la AOAC.

10.4 Determinación de proteínas: método de microkjeldahl

Determinar las proteínas en los alimentos es esencial para mantener la salud, favorecer el desarrollo y la reparación de tejidos, proporcionar funciones metabólicas clave y apoyar la actividad física y el rendimiento.

a) Material

Tubos Kjeldahl, Matraz Erlenmeyer de 125 mL, Agitador magnético, Bureta, Soporte universal, Pinzas para soporte, Porta-tubos, Soporte para tubos (base), Bomba de recirculación de agua, Balanza analítica, Digestor, Destilador micro Kjeldahl, Placa de agitación.

Reactivos

Concentrado NaOH al 60%, Catalizador para proteínas, Solución de ácido bórico saturado HCl 0.1 N, Indicador rojo de metilo-azul de metileno

b) Procedimiento

Digestión

1. De ser una muestra sólida cortar o triturar finamente la muestra.
2. Colocar el tubo de Kjeldahl en la balanza analítica con ayuda del porta-tubos, desprejar dicho peso (tarar).
3. Pesar de 0.25 a 0.5 g de muestra o 1 mL (si es una muestra líquida), directamente en el tubo de Kjeldahl, sin tocar las paredes, asegurando depositar la muestra en el fondo.
4. Agregar 1 g de catalizador para proteínas y 2.5 mL de concentrado.
5. Colocar en el digestor aproximadamente de 1 a 2 h o hasta obtener un cambio de coloración a claro en el tubo, trabajando esto dentro de la campana encendida o bien utilizando el recirculador de gases.
6. Retirar los tubos del digestor y serán colocados en un soporte para que puedan enfriarse y retirar vapores, con campana prendida

Destilación y titulación

1. En el matraz Erlenmeyer de 125 mL, agregar 5 mL de solución de ácido bórico saturado y 2 gotas de indicador rojo de metilo-azul de metileno.
2. Armar y precalentar el equipo destilador Micro Kjeldahl, cerciorándose que el depósito de agua se encuentre en el nivel máximo marcado en el recipiente y enfriar el refrigerante, utilizando una bomba de recirculación de agua o un enfriador.

3. Una precalentado el equipo y enfriado el refrigerante, colocar el tubo Kjeldahl con la muestra digerida en el destilador sujetándolo con el seguro y en la salida del refrigerante colocar el matraz que preparó previamente con ácido bórico e indicador, cuidando que la manguera quede dentro de la solución de ácido bórico.
4. Agregar 10 mL de NaOH al 60% al dosificador del destilador (el cual se encuentra en la parte superior del equipo, verificar que la llave esté cerrada, es decir en forma horizontal.
5. Destilar la muestra hasta obtener un volumen de destilado de 50 mL en el matraz Erlenmeyer con una coloración verde.
6. Titular el destilado con HCl 0.1 N hasta una coloración violeta.
7. Registrar el volumen gastado y realice los cálculos correspondientes

10.5 Vida de anaquel

Se estima que el tiempo de vida de anaquel de la panela granulada puede variar en función a las diferentes condiciones de almacenamiento y pone en relieve la necesidad de establecer el grado de estabilidad en términos de azúcares invertidos, distribución granulométrica y compactación de los gránulos. Se define como vida útil al periodo de tiempo transcurrido entre la producción y el consumo de un producto alimenticio, determinado por el nivel satisfactorio de calidad, el valor nutritivo, así como el sabor, textura y apariencia. Varía de acuerdo al procesamiento, la naturaleza del producto y el almacenamiento; obteniéndose cambios a niveles microbiológicos, sensoriales y/o físico-químicos.

a) Procedimiento

La vida de anaquel esta influenciada por diferentes indicadores que predicen la vida útil del piloncillo almacenado en condiciones normal, acelerada y extrema. Los indicadores son:

1. Almacenamiento Se almacenan paquetes de 170 g de piloncillo granulado empacados en fundas de polipropileno, a tres condiciones de almacenamiento: normal (26°C/HR=50%), acelerada (32°C/HR=75%) y extrema (38°C/HR=100%).
2. Humedad La determinación de humedad consiste en evaluar por diferencia de pesos el porcentaje de humedad de una muestra de 2 g al ser sometida a 105° C ± 2°C durante 12 h.
3. Azúcares totales: seguir el protocolo descrito en la sección 6.5
4. Actividad del agua: seguir el protocolo descrito en la sección 6.6
5. Granulometría: evaluación del tamaño de gránulo, empleando una plancha de agitación con un juego de tamices metálicos. Los resultados se expresaron en porcentajes de fracciones retenidas,

comprendidos entre los rangos: $> 1000 \mu\text{m}$; $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$; $425 \mu\text{m} < x \leq 600 \mu\text{m}$ y $\leq 425 \mu\text{m}$.

11 TRANSFERENCIA DE SABERES

Se agradecerá el interés de los lectores para compartir ideas, visiones y acciones que contribuyan al desarrollo del tema de esta obra.

El equipo de trabajo del Pronaii 321073 tiene la apertura para intercambiar opiniones e información, así como para encontrar los mecanismos de transferencia e implementación de las acciones descritas en las comunidades rurales de otros sistemas productivos.

En caso de interés o de cualquier comunicación, favor de contactar al responsable técnico del Proyecto:

Marco Antonio Sánchez Castillo

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Facultad de Ciencias Químicas

Manuel Nava 6, Z. Universitaria

San Luis Potosí, S.L.P., 78210

masanchez@uaslp.mx

ANEXO: BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, SIAP, consulta de datos, periodo 2022 a 2023.

<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Ahnen RT, Jonnalagadda SS, Slavin JL. Role of plant protein in nutrition, wellness, and health. *Nutr Rev.* 2019 Nov 1;77(11):735-747.

Arias A, Feijoo G, Moreira, M, (2023) Biorefineries as a driver for sustainability: Key aspects, actual development and future prospects, *Journal of Cleaner Production*, 418,2023, 137925,

Cabrera, E., León, V., Montano, A.D.L.C., y Dopico, D., Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento, *Centro Azúcar*, ISSN: 2223-4861, 43(4), 27-35 (2016)

Da Silva, P. P.; Soares, L.; Da Costa, J. G.; Da Silva, L.; Farías, J. C.; Rebelo, E.; Messias, J.; De Souza, G. V.; Nascimento, V. X.; Todaroe, A. R.; Riffel, A.; Grossi-de-Saf, M. F.; Pereira, M. H.; Goulart, A. E. and Ramalho, C. E. 2012. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. *Estados Unidos de América. Industrial Crops and Products.*37(1):11-19.

Dufresne, A., Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial, *Materials Today*, 16(6), 220-227 (2013).

Dumroese, R. K., Heiskanen, J., Englund, K., & Tervahauta, A. (2011).. *Biomass and bioenergy*, 35(5),

Fajardo Castillo, E. E. y Sarmiento Forero, S. C. Evaluación de la melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*. Trabajo de Grado, Ponticia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia, 2007.

Financiera Rural. Monografía de la melaza de la caña de azúcar. 2011.

Faus Badia. Alejandro, (2010). Sustratos alternativos para cultivos de exterior valorización de residuos orgánicos y ensayos. I curso de gestión de viveros forestales. Valencia-España.

Favaro L, Cagnina L, Basaglia M, Pizzocchero V, Heber van Zyl W, Casellaa S, (2017), Production of bioethanol from multiple waste streams of rice milling, *Bioresource Technology*, 244, (1), 151-159.

Fengel D, G. Wegener, (1989). *Wood chemistry, ultrastructure, reactions*, Walter de Gruyter, Berlin, 613,

Fonteno, D. 2009. Sustratos: tipos y propiedades físicas químicas. En: *Agua, sustratos y nutrición*. David W. Reed, Editor. Trad. M. Pizano. Hortitécnia, Bogotá. pp. 93-123.

Gómez-Maqueo A, Escobedo-Avellaneda Z, Welti-Chanes J. Phenolic Compounds in Mesoamerican Fruits- Characterization, Health Potential and Processing with Innovative Technologies. *Int J Mol Sci.* 2020 Nov 7;21(21):8357.

Hingsamer M, Jungmeier G, (2019), Chapter Five - Biorefineries, The Role of Bioenergy in the Bioeconomy, Academic Press, 179-222.

INEGI. (2012). *Síntesis de Información geográfica del estado de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: Gobierno del Estado de San Luis Potosí.

INVESTIGACIONES, I. N. (2013). *Tecnología para el cultivo de la caña de azúcar en temporal*. San Luis Potosí: SAGARPA.

- Jaffé, W. (2015). Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: a compilation of the data from the analytical literature. *Journal of food composition and analysis*, 43, 194- 202.
- Jaffé, W. (2012). Health effects of Non-Centrifugal Sugar (NCS): a review. *Sugar tech*, 14 (2), 87- 94.
- Karp, Susan & Schmitt, Caroline & Moreira, Renata & Penha, Rafaela & Mello, Ariane & Wedderhoff Herrmann, Leonardo & Soccol, Carlos. (2022). Sugarcane Biorefineries: Status and Perspectives in Bioeconomy. *BioEnergy Research*.
- Mexico, N. (6 de Diciembre de 2022). *Nuestro Mexico*. Obtenido de Nuestro Mexico: <http://www.nuestro-mexico.com/San-Luis-Potosi/Tanlajas/El-Barrancon/>
- Monografías de los Municipios de México, San Luis Potosí*. (2012). San Luis Potosí: Coordinación Estatal para el Fortalecimiento Institucional de los Municipios.
- Muñiz-Márquez, D., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., Reyes-Luna, C., Ramírez-Cathí, H., & Wong-Paz, J. (2017). Aprovechamiento Sustentable de Piloncillo de Caña de Azúcar Cultivada en la Huasteca Potosina. *JBCT volumen*, 1-8.
- NORMA MEXICANA NMX-F-596-SCFI PILONCILLO 100% DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum L.) ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA
- NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.
- Ottley C. Who needs vitamin and mineral supplements? *Nurs Stand*. 2000 Apr 5-11;14(29):42-5.
- Pérez, E. A.; López, I. G.; Salgado-García, S.; Rivera, S. I. y Sánchez, S. C. 2019. Fertilization alternatives for sugarcane crop in Pujiltic Sugarcane Mill, Chiapas, México. *India. Sugar Technology*.21(5):756-764
- Panduro Cometivos, JM. 2002. Jugo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L) como suplemento energético en la alimentación de cerdos en la fase de crecimiento y acabado (en línea). Tesis. Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 73 p. Disponible en <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/864/Z345.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramón Patiño, ÁB. 2011. Evaluación del rendimiento agroproductivo e industrial de 3 variedades certificadas de caña de azúcar (Saccharum officinarum) de origen cubano (C 1051-73, C 8751, C 132-81), frente al testigo variedad cristalina, en etapa de cosecha, en el cantón Huamboya, provincia de Morona Santiago (En accepted: 2012-01-19t23:29:03z). *Universidad Politecnica Salesiana* :112.
- Ramírez-Medorio, N., Hernández-Rosas, F., Osorio-Acosta, F., López-Collado, J., Figueroa-Rodríguez, K., & Amante-Orozco, A. (2019). Composición química de volátiles de hojas de caña de azúcar y pastos mediante cromatografía de gases. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 129-138.
- Reyes-Hernández, J., Torres-de los Santos, R., Hernández-Torres, H., Hernández-Robledo, V., Alvarado-Ramírez, E., & Joaquín-Cancino, S. (2022). Rendimiento Y Calidad De Siete Variedades De caña De Azúcar En El Mante, Tamaulipa. *Rendimiento y calidad de siete variedades de caña de azúcar en El Mante, Tamaulipas*, 883-892.

- Romero, M. A., Cruz, A., Goytia, M.A., Sámano, M. A. y Baca, J. (2011). La sustentabilidad de dos sistemas de producción de piloncillo en comunidades indígenas de la región centro de la Huasteca Potosina. *Revista de geografía agrícola*, 46- 47, 73- 86
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*. Santiago de Chile: FAO-ORG.
- SADER, 2022, " México cuenta con disponibilidad suficiente de azúcar para atender el abasto nacional y exportaciones"
<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-cuenta-con-disponibilidad-suficiente-de-azucar-para-atender-el-abasto-nacional-y-exportaciones?idiom=es%2%A0>).
- SAGARPA (2014). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera.
- SAGARPA (2016). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Salgado-García, S., Castelán-Estrada, M., Aranda-Ibañez, E., Ortiz-Laure, L., Lagunes-Espinoza, L., & Córdova-Sánchez, S. (2016). Calidad de jugos de caña de azúcar. *Agroproductividad*, 23-28.
- Salas Salvadó J, Maraver Eizaguirre F, Rodríguez-Mañas L, Saenz de Pipaón M, Vitoria Miñana I, Moreno Aznar L. Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Nutr Hosp*. 2020 Oct 21;37(5):1072-1086.
- Sánchez Castillo et al., (2022). Reporte de la Etapa 1 del Proyecto PRONACES 321073, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.
- Sánchez Castillo et al., (2023). Reporte de la Etapa 2 del Proyecto PRONACES 321073, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.
- Secretaría de Agricultura, 2022, datos consultados enero 2024.
<https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/la-cana-de-azucar-y-su-importancia-para-la-industria-azucarera?idiom=es>).
- Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS), caracterización de productores de caña de azúcar de la huasteca potosina, dedicados a la producción de piloncillo, 2014.
- Solis, J., Pérez, F. M., Orozco, I., & Flores, J. M. (2006). Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. *e-Gnosis*, 1-8.
- Wang D, Ye J, Shi R, Zhao B, Liu Z, Lin W, Liu X. Dietary protein and amino acid restriction: Roles in metabolic health and aging-related diseases. *Free Radic Biol Med*. 2022 Jan;178:226-242
- Virtanen JK, Nurmi T, Aro A, Bertone-Johnson ER, Hyppönen E, Kröger H, Lamberg-Allardt C, Manson JE, Mursu J, Mäntyselkä P, Suominen S, Uusitupa M, Voutilainen A, Tuomainen TP, Hantunen S. Vitamin D supplementation and prevention of cardiovascular disease and cancer in the Finnish Vitamin D Trial: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2022 May 1;115(5):1300-1310.