



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y

VETERINARIA

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

Optimización del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar
Saccharum officinarum por medio del Trapiche, para la elaboración de
panela artesanal.

AUTORA:

Wendy Silvana Alvear Herrera

TUTOR:

Lic. Daniel Arias Toro PhD.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

La panela artesanal es un producto derivado de la caña de azúcar y tiene un amplio consumo en muchas regiones del mundo. En Ecuador es un producto muy popular especialmente en las zonas rurales, existen alrededor de 30.602 hectáreas para la producción de panela. Optimizar la extracción del jugo de caña mediante el trapiche para la elaboración de panela artesanal implica mejorar la eficiencia y calidad del producto final. Según investigaciones se considera que la extracción de jugos en los trapiches es satisfactoria cuando oscila entre el 58% y 63%, sin embargo, estos porcentajes se logran cuando los equipos están en condiciones de desgaste elevados. La presente investigación detalla las diversas dificultades, limitaciones y otros aspectos que se presentan en los trapiches al momento de la extracción, ya que esto puede influenciar negativamente en el rendimiento del jugo por ende también en la producción de la panela, llegando a la conclusión que para la optimización de este proceso se busca alcanzar un equilibrio entre la maximización del rendimiento del jugo de caña de azúcar y la minimización de las pérdidas, lo que se traduce en una mayor eficiencia y una producción de panela artesanal de alta calidad y valor nutricional. Este enfoque no solo beneficia a los productores al aumentar la rentabilidad, sino que también garantiza un producto final que cumple con los estándares de calidad y seguridad alimentaria requerido por los consumidores.

Palabras clave: optimización, caña de azúcar, eficiencia, calidad, panela.

SUMMARY

Artisanal panela is a product derived from sugar cane and is widely consumed in many regions of the world. In Ecuador it is a very popular product, especially in rural areas; there are around 30,602 hectares for panela production. Optimizing the extraction of cane juice through the mill for the production of artisanal panela implies improving the efficiency and quality of the final product. According to research, it is considered that juice extraction in mills is satisfactory when it ranges between 58% and 63%, however, these percentages are achieved when the equipment is in high wear conditions. The present investigation details the various difficulties, limitations and other aspects that occur in the mills at the time of extraction, since this can negatively influence the juice yield and therefore also the panela production, reaching the conclusion that To optimize this process, we seek to achieve a balance between maximizing the yield of sugarcane juice and minimizing losses, which translates into greater efficiency and production of artisanal panela of high quality and nutritional value. This approach not only benefits producers by increasing profitability, but also guarantees a final product that meets the quality and food safety standards required by consumers.

Keywords: optimization, sugarcane, efficiency, quality, panela.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Líneas de investigación	3
2. DESARROLLO	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.1.1. Proceso de extracción con el trapiche.....	4
2.1.2. Problemas y desafíos en el proceso tradicional de extracción.....	5
2.1.3. Caña de azúcar	5
2.1.4. . Clasificación botánica y morfología de la caña de azúcar.....	5

2.1.5.	. Taxonomía.....	6
2.1.6.	Cosecha de caña panelera	6
2.1.7.	Derivados de la caña de azúcar	7
2.1.8.	Transporte de la caña de azúcar	8
2.1.9.	Jugo de caña.....	8
2.1.10.	Panela	9
2.1.11.	Calidad de la panela hecha a base de trapiches.....	9
2.1.12.	Propiedades físicas y químicas de la caña de azúcar	10
2.1.13.	Residuos de la caña de azúcar	11
2.1.14.	Apronte.....	11
2.1.15.	Extracción del jugo.....	12
2.1.16.	Clarificación	12
2.1.17.	Evaporación y concentración	13
2.1.18.	Punteo.....	13
2.1.19.	Batido	14
2.1.20.	Moldeo	14
2.1.21.	Empaque y almacenamiento.....	14
2.1.22.	Factores tecnológicos de la producción de panela	14

2.2.	Marco metodológico	15
2.3.	Resultados	16
2.4.	Discusión.....	18
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
3.1.	Conclusión.....	19
3.2.	Recomendaciones.....	20
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS.....	21
4.1.	Referencias.....	21
4.2.	Anexos.....	25

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

La caña de azúcar *Saccharum officinarum*, es una planta de gran importancia en la economía de muchas regiones del mundo por su versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. La cantidad y volumen de subproductos que se pueden aprovechar de la caña son altos, dado que por cada tonelada se obtiene una tonelada de subproductos (Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019).

La panela artesanal, es un producto popular en el Ecuador, especialmente en las zonas rurales. Existen alrededor de 82.749 hectáreas de caña para la producción de azúcar y 42.606 hectáreas de caña para otros usos. Para la producción de panela se dedican 30.602 hectáreas con una producción promedio de 70 t/ha y el resto para alcohol artesanal (Francisco et al., 2018).

La actividad agrícola de la caña de azúcar y la producción panelera tuvo sus inicios aproximadamente en las décadas de los años treinta y cuarenta caracterizándose por un proceso artesanal con la utilización de procesadores rústicos de caña, llamados también trapiches. Desde aquellos tiempos, la producción de panela ha desempeñado un papel importante en el impulso de la economía regional y ha sido un pilar tanto económico como cultural para numerosas familias campesinas (Cruz et al., 2022).

Sin embargo, a pesar de su importancia histórica y cultural, el proceso de extracción del jugo de caña mediante el trapiche enfrenta muchos desafíos existentes vinculados con el deterioro y el mal funcionamiento de los materiales en los ejes de los molinos, provocados por la fricción entre piezas y la presión hidráulica, así como la corrosión generada por los jugos de la caña sobre los materiales (Eugenia et al., n.d.).

En el presente trabajo se dará a conocer mejoras para la eficiencia y calidad del jugo que se obtiene, enfocándose en la optimización del proceso de extracción del jugo de caña mediante trapiches para la elaboración de panela artesanal lo cual beneficiara tanto a

productores como a consumidores finales y a su vez fortalecer este importante sector agroindustrial.

1.2. Planteamiento del problema

La producción total en las molindas se ve directamente relacionada con los costos de producción y la extracción del jugo para la elaboración de panela artesanal, por lo que, la mejora en las técnicas tradicionales puede influenciar significativamente el volumen final que se obtiene del producto.

El problema de esta investigación radica en que los trapiches destinados a la extracción del jugo existen dificultades y limitaciones que afectan negativamente la eficiencia y rendimiento del proceso. Estos inconvenientes comprometen la cantidad y calidad del jugo extraído lo que impacta directamente en la producción de panela artesanal e impidiendo el máximo rendimiento y por ende incrementa los costos de producción.

1.3. Justificación

La presente investigación surgió debido a que la panela es un producto altamente consumido en muchas regiones del mundo y especialmente en Ecuador, ya que tiene un valor cultural, económico y social importante permitiendo mantener tradiciones y generar empleo en comunidades rurales.

Sin embargo, el sector panelero del país constituye a una población marginada debido a que estas poblaciones son sumamente pobres y la fuerza laboral está formada por niños, mujeres y jefes de hogar. La insuficiencia financiera del productor panelero, lo hace víctima propicia de los intermediarios de la comercialización. Por lo tanto, su actividad a menudo debe desarrollarse con pérdida o, en el mejor de los casos obtienen ganancias bajas que no cubren sus necesidades básicas.

Debido a las condiciones del Ecuador, el proceso de extracción del jugo de caña de azúcar es un paso clave en la producción de la panela, impactando directamente en la calidad y rendimiento del producto final. Optimizar este proceso puede mejorar la eficiencia de la producción, reducir los costos y garantizar una mejor calidad de la panela.

Por tales motivos, esta investigación no solo beneficiara a moliendas, sino que también puede contribuir al crecimiento general del sector agroindustrial relacionado con la caña de azúcar y la producción de la panela y por ende impactando positivamente en la economía local, regional y nacional.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar el proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar *Saccharum officinarum*, por medio del Trapiche, para la elaboración de panela artesanal.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las dificultades y limitaciones que se presentan en proceso de extracción del jugo con los trapiches.
- Determinar la eficiencia del proceso de extracción del jugo de caña de azúcar por medio del trapiche, mediante porcentajes de extracción y la cantidad de residuos en el bagazo.

1.5. Líneas de investigación

Dominio: Recursos Agropecuarios, Ambiente, Biodiversidad y Biotecnología.

Línea: Desarrollo Agropecuaria, Agroindustrial sostenible y sustentable.

Biotecnología vegetal y animal

Sub-Línea: Procesos Agroindustriales. Agronegocios

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Proceso de extracción con el trapiche

El trapiche está equipado con una estructura robusta y resistente, diseñado específicamente para resistir corrosión y mantenerse en contacto con el jugo de la caña de azúcar, contando con la capacidad de desmontarse para facilitar su limpieza y mantenimiento, en donde se asegura que el trapiche cumpla con los estándares de seguridad y confiabilidad para garantizar el correcto funcionamiento en el proceso de extracción del jugo de la caña (Guamán Pineda,, 2021).

El proceso de extracción consiste en pasar la caña a través del molino compuesto por rodillos dentados que aplastan la caña y exprimen el jugo, este jugo se recoge y se separa de los residuos fibrosos de la caña dependiendo del lugar y tipo de trapiche que se utilice.

Para la caña de azúcar se somete a presión en los rodillos o mazas del molino, lo que facilita la liberación de líquido contenido en los tallos, en base a esto se considera que las extracciones son satisfactorias cuando oscilan entre el 58 por ciento y el 63 por ciento, es decir cuando se obtiene entre 580 y 630 kilogramos de jugo por cada tonelada de caña procesada (Food and Agriculture Organization, 2020).

El área destinada a la extracción de jugo de caña mediante el trapiche es fundamental para garantizar los óptimos rendimientos en la producción de panela, encargándose de preparar la caña para su molienda, con el propósito de obtener la mayor cantidad de jugo posible. Durante este proceso suelen surgir diversos contratiempos, como los escasos de caña disponible para moler o problemas operativos de descarrilamiento en la mesa alimentadora e incluso fallos en los conductores y cadenas encargadas del transporte de la caña (Llontop Mendoza, 2020).

2.1.2. Problemas y desafíos en el proceso tradicional de extracción

El trapiche, es una herramienta utilizada en la antigüedad que hasta hoy en día se hace el uso en diversas ocasiones, uno de los principales desafíos que presenta esta herramienta es la baja eficiencia en la extracción del jugo de la caña de azúcar, ya que se pierde una cantidad crítica de jugo durante el proceso de molienda y extracción con el trapiche (Antón Sánchez, 2019).

Por otro lado, también este proceso implica un alto costo de mano de obra, ya que se requiere una supervisión y operación manual intensiva, conllevando a una mayor dependencia en la mano de obra.

Otro desafío es la viabilidad en la calidad del producto final que sería la panela artesanal, debido en gran parte a la naturaleza manual del proceso las limitaciones tecnológicas del trapiche, siendo difícil mantener estándares de calidad en el trapiche.

2.1.3. Caña de azúcar

La caña de azúcar es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, tanto para el ámbito alimentario como para la industria. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se estima que hay aproximadamente 30 millones de hectáreas destinadas a su cultivo en todo el mundo, y se prevé un incremento en muchas regiones. Esto se debe a la versatilidad de la caña que permite a los molinos alternar la producción de azúcar y etanol. La caña de azúcar constituye aproximadamente el 86% de la producción mundial de azúcar, y los principales países productores son Tailandia, Brasil, India y China (Figura, 2020).

2.1.4. . Clasificación botánica y morfología de la caña de azúcar

La caña de azúcar botánicamente pertenece al género *Saccharum*, y se encuentra dentro de la familia de las Gramíneas, en el orden Glumiflorales, dentro de la clase monocotiledóneas y la división embriofita. Las variables comerciales de la caña de

azúcar son híbridos interespecíficos principalmente son *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum* y *Saccharum robustum*.

Desde el punto de vista morfológico, la caña de azúcar se caracteriza por la presencia de macollos, que son brotes secundarios que surgen de las yemas axilares ubicadas en los nudos del tallo principal. Su reproducción se lleva a cabo de manera asexual mediante trozos o esquejes que contienen estas yemas, donde cada una puede desarrollarse en un tallo primario, donde origen a tallos secundarios y terciarios (Joaquín et al., 2019)

2.1.5. . Taxonomía

La caña de azúcar se clasifica botánicamente de la siguiente forma:

Tabla2: Clasificación botánica de la caña de azúcar. Autor, (Felipe & Bustamante, 2015).

Reino	Vegetal
Tipo	Fanerógamas
Subtipo	Angiospermas
Clase	Monocotiledóneas
Orden	Glumales
Familia	Poáceas
Tribu	Andropogoneas
Género	Saccharum
Género	<i>Spontaneum</i> y <i>robustum</i> (<i>silvestre</i>), <i>edule</i> , <i>barberi</i> , <i>sinense</i> y <i>officinarum</i>

2.1.6. Cosecha de caña panelera

La caña de azúcar es cosechada cuando alcanza su madurez tecnológica, es decir, cuando alcanza un nivel de concentración de sólidos solubles entre 20 y 22 grados Brix. Para las cañas destinadas a la producción de panela, se sugiere aplicar menos fertilizante nitrogenado que para las destinadas a ingenios, ya que niveles altos de

nitrógeno pueden aumentar los azúcares reductores en el jugo de caña. Un exceso de estos azúcares, superando el 15%, puede comprometer la estabilidad del producto final, reduciendo su vida útil en anaquel (Morales-Ramos, 2017).

La actividad de recolección se realiza durante un periodo que va desde los once hasta los dieciséis meses después de la siembra, es decir, cuando los tallos dejan de crecer, las hojas se secan y caen, y la corteza de los tallos se vuelve frágil. Durante este proceso, se quema la plantación para eliminar las malezas que dificultan el corte de la caña, así como posibles plagas (ratas de campo, víboras o tuzas, etc.) que pudiesen causar daño a los trabajadores encargados de la recolección (Azúcar, n.d.).

2.1.7. Derivados de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta versátil que proporciona una variedad de productos, como aguardiente, panela, alfeñique y azúcar refinado. Estos productos, al ser comercializados, representan el sustento económico de muchas familias, impulsando el desarrollo social, económico, productivo y empresarial de la comunidad (Soledispa-Rodríguez et al., 2019).

El azúcar es un edulcorante natural que se presenta y cristalizada compuesta principalmente por cristales sueltos obtenidos a partir de la caña de azúcar mediante procesos industriales adecuados. La caña de azúcar contiene aproximadamente entre un 9% y un 13% de sacarosa. El jugo obtenido a través de la molienda de la caña se concentra y cristaliza mediante la evaporación de agua por calentamiento. Los cristales resultantes forman el azúcar crudo, que puede ser lavado para obtener azúcar estándar industrial. Este último se produce mediante un proceso similar al del azúcar crudo, optimizando las etapas de clarificación y centrifugación (Generalidades, n.d.)

El alfeñique se obtiene al cocinar el jugo de caña hasta que se forma una masa y el bagazo se separa. Luego, esta masa se estira hasta que adquiere una consistencia pastosa de color similar al habano; esta golosina es una alternativa natural para consumir dulces (Romero, 2020)

La panela se produce al hervir el jugo de caña a altas temperaturas hasta que adquiere un color café y se espesa. Luego, se retira del fuego y se vierte en moldes para su enfriamiento rápido y endurecimiento. Este producto se utiliza como un endulzante natural, en la cocina e incluso como un estimulante energético (Romero, 2020)

El aguardiente es la bebida alcohólica más popular entre los ecuatorianos, según el informe de consumo Overview 2008. El 76% de los compradores prefieren el aguardiente de caña, seguido por el ron en segundo lugar con el 20% de las preferencias, y el vodka en tercer lugar con el 4%. En términos generales, las bebidas alcohólicas ocupan el tercer lugar en las preferencias de consumo de los ecuatorianos, siendo la cerveza la bebida más consumida con un 33,8%, seguida por las colas con un 30,2% y luego las bebidas alcohólicas con un 22,7%. De acuerdo a esta investigación de mercado, el consumo de licores se incrementó un 3%, entre 2006-2007 (Parrales, 2019).

2.1.8. Transporte de la caña de azúcar

El transporte de la caña es fundamental, tiene como objetivo principal recoger la materia prima del campo de manera eficiente asegurando un suministro oportuno y adecuado a la fábrica, minimizando el tiempo entre cosecha y la molienda, así mismo reduciendo al mínimo los niveles de impurezas (especialmente hojas, recortes y tierra) y al menor costo. Esto se hace con el fin de producir azúcar de alta calidad y competitividad en términos de precio. Dado a que los costos de transporte tienen un impacto significativo en la rentabilidad del producto, cualquier cambio en esta etapa puede afectar considerablemente la rentabilidad general (Nota Técnica Informativa, n.d.).

2.1.9. Jugo de caña

La extracción de sacarosa de la caña de azúcar comienza en el campo, donde la calidad del material obtenido está influenciada por diversos factores como la variedad de caña, las condiciones del suelo, las prácticas de cultivo y el nivel de madurez. Una caña de alta calidad se traduce en rendimientos superiores por tonelada de caña procesada,

debido a características como un alto contenido de sacarosa, bajos niveles de impurezas y sólidos solubles (Velazquez, 2023).

2.1.10. Panela

La panela es un producto completamente natural, elaborada exclusivamente a partir del jugo de caña de azúcar, con propiedades nutricionales y energéticas muy beneficiosas. Su producción se lleva a cabo en fincas agrícolas que utilizan trapiches para extraer el jugo de la caña de allí se produce la panela y miles vírgenes para el consumo humano (Osorio et al., 2020).

Durante la elaboración, se utiliza un trapiche o molino, para triturar la caña y obtener el guarapo. Este líquido se lleva luego a una paila de aluminio, donde se aplica calor mediante leña u otro combustible hasta que hierve. Posteriormente, se añade un agente limpiador natural, conocido como palo bobo o cadillo, el cual se procesa para extraer un líquido viscoso transparente. Al combinarse este agente con el guarapo en las calderas, atrae las partículas de impurezas generadas durante el proceso de molienda. Después, se realiza una limpieza mediante un cedazo, asegurando así que el guarapo quede completamente puro mediante un procedimiento orgánico (Camacho, 2016)

Las dimensiones tamaño y forma de presentación de la panela muestran variaciones considerables, aun en un mismo trapiche. Actualmente se comercializan cuatro formas de panela: redonda, cuadrada, rectangular y también granulada o en polvo. La irregularidad del tamaño de la panela dificulta su comercialización ya que disminuye la capacidad de negociación de los productores, engaña a los consumidores y complica la aplicación de los patrones de calidad y la utilización adecuada de empaques de cartón (USOS DE LA CAÑA Y SUS SUBPRODUCTOS, 2019)

2.1.11. Calidad de la panela hecha a base de trapiches

La capacidad competitiva, la productividad, la calidad de los productos y la sostenibilidad de la empresa agroindustrial panelera dependerán de los criterios de

supervisión establecidos en cada fase del proceso. Por lo tanto, es esencial implementar mejoras y realizar investigaciones en la fase de extracción y purificación de jugos, aumentando la capacidad de procesamiento de la caña y la extracción de jugo en los molinos, así como mejorando la limpieza de los jugos para contribuir a la calidad de los productos finales (Lara et al., 2019)

En la actualidad, la agroindustria panelera nacional enfrenta desafíos que demandan cambios tanto a nivel estructural como coyuntural. Estos cambios son necesarios para desarrollar políticas públicas que fomenten la diversificación de los productos obtenidos de la caña de azúcar, con el objetivo de ingresar en diversos mercados. Todo ello mediante estrategias eficaces, competitivas y respetuosas con el medio ambiente (Miguel & Cabrera, 2019).

El trapiche artesanal opera con una infraestructura y un procedimiento para producir panela en presentaciones de 370 y 415 gramos, empleado un equipo de 13 trabajadores o más dependiendo de la demanda para el proceso de fabricación diaria, en donde las agroindustrias abarcan una extensa área del territorio urbano y representan una fuente crítica de empleo tanto directo como los trabajadores en los trapiches como indirecto haciendo mención de los acopiadores, pequeños comerciantes, intermediarios, transporte y cortadores (González et al., 2020).

2.1.12. Propiedades físicas y químicas de la caña de azúcar

La caña de azúcar, también conocida como caña dulce o cañamiel, es una planta herbácea con tallo leñoso que tradicionalmente se ha utilizado como una fuente primaria de sacarosa, conocida popularmente como azúcar de mesa. Aunque comúnmente se asocia con la producción de sacarosa, investigaciones recientes han revelado propiedades adicionales de la caña de azúcar que tienen impacto en la salud de los consumidores. Se ha descubierto que es una fuente importante de ingredientes fisiológicamente activos (Jiménez et al., 2019).

Consta de un tallo subterráneo de que parten lateralmente las raíces, extendiéndose estas en todos los sentidos penetrando de 20 a 30 centímetros en el suelo. Del tallo subterráneo brotan hacia el exterior los tallos aéreos con 1.50 de altura y de 4 a 8 centímetros de diámetro, dividido por nudos denominados también canutos, de donde parten las hojas, que son alternas, estrechas, rectinervias, envainadas en la base y provistas de lígula (Parra, n.d.)

La composición química de la caña de azúcar es el resultado de la combinación y la influencia de diversos factores que afectan directa e indirectamente sus componentes. Estos factores pueden variar entre diferentes lotes, ubicaciones geográficas, regiones, condiciones climáticas, variedades de caña, edad de la planta, etapa de madurez, prácticas de cultivo utilizadas, períodos de evaluación, propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, nivel de humedad ambiental y del suelo, así como la aplicación de fertilizantes, entre otros (Chaves Solera, 2018).

La ceniza de bagazo de caña de azúcar, ha demostrado ser un componente puzolánico eficaz, capaz de mejorar las propiedades del concreto, ya que es un componente que ayuda en su elaboración, también su efectividad como puzolana está directamente relacionado con el proceso de combustión (*Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de Agave Tequilana Weber | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2021).

2.1.13. Residuos de la caña de azúcar

Los residuos de la caña de azúcar, como el bagazo, son un valioso subproducto del proceso de extracción del jugo de la caña, en donde son utilizados como fuente renovable de energía en diferentes industrias azucareras (Jcome pilco et al., 2023).

2.1.14. Apronte

Esto corresponde al corte, elevación, transporte y almacenamiento de la caña de azúcar. Los agricultores guardan la caña en un área específica dentro del trapiche el cual

se recomienda que cuente con algunas características determinadas como tener suelo de cemento u hormigón y estar en una posición elevada para facilitar el transporte hacia el molino, a estos espacios se los conoce como área de apronte. Los productores de panela disponen de un área de apronte para tener disponible la materia prima en cualquier momento necesario, con el fin de garantizar una producción continua sin interrupciones (González, 2020).

2.1.15. Extracción del jugo

A través de un sistema de cintas transportadoras la fibra de caña entra al proceso de molienda por medio del trapiche para ser triturada, extrayendo así el jugo mediante la aplicación de agua caliente, lo cual agiliza el proceso. El resultado es un jugo turbio, ácido y coloreado y como subproducto se obtiene el bagazo. Después de la molienda, los molinos se limpian con soluciones de cal, vapor y agua caliente (“ASOBANCA,” n.d.).

La eficiencia en la extracción de jugo se evalúa comparando la masa de jugo obtenida con la masa de caña molida. La mayoría de la literatura considera que las extracciones entre el 58% y el 63% son satisfactorias. Sin embargo, investigaciones de campo sugieren que estos valores se logran fácilmente con equipos que están en condiciones de desgaste elevado. Aunque no existen estudios previos que expliquen los límites en los valores de extracción de jugo, en la práctica se relacionan con los límites de resistencia de los equipos (Díaz, 2012).

2.1.16. Clarificación

La clarificación del jugo de caña consiste en coagular las sustancias que no son azúcares, mediante el calentamiento a temperaturas cercanas al punto de ebullición y la adición de agentes clarificadores. La clasificación de partículas suspendidas o material suspendido, en su mayoría, consiste en fragmentos de celulosa (bagacillo), tierra, arena, arcilla, almidón, ceras, grasas y goma (Fernández et al., 2021).

En la agroindustria panelera, el proceso de purificación de los jugos de caña es fundamental y se lleva a cabo mediante la incorporación de flocculantes derivados de mucílagos vegetales. Estos mucílagos son compuestos extraídos de los tallos, hojas o frutos de ciertas plantas naturales. Después de ser macerados y mezclados con agua, crean una sustancia mucilaginosa que, al ser agregada al jugo de caña caliente, atrapa las partículas sólidas insolubles presentes en él. Esto resulta en la formación de flóculos más grandes llamados cachaza, los cuales pueden ser eliminados mediante métodos físicos para obtener un jugo de caña limpio y claro (Ortiz, 2017).

2.1.17. Evaporación y concentración

Consiste en elevar la proporción de azúcares en los jugos mediante la aplicación de calor durante la transformación del agua líquida en vapor, lo que incrementa la concentración inicial de sólidos solubles hasta alcanzar el punto de la panela o punto de miel, donde la temperatura promedio llega a los 120°C. A partir de esta temperatura, comienza el proceso de concentración, que tiene lugar en la paila punteadora. Aquí, los jugos se recolectan en el fondo y se les añade un agente antiespumante (como aceite de palma, manteca vegetal o cera de laurel) para uniformizar la miel y prevenir que la panela se quemé (Vásquez, 2022).

2.1.18. Punteo

El punto de panela se determina cuando las mieles alcanzan una concentración aproximada de 93°B para la panela moldeada en gaveras, 94°B para el moldeo individual, y entre 95 y 96°B para la panela granulada. Un indicador técnico relevante es la temperatura de ebullición de las mieles, que debe situarse entre 120 y 122 °C para la panela moldeada en gaveras, 123°C para la individual y entre 124 y 125 °C para la granulada. Estas temperaturas pueden variar hasta 2°C debido a factores como la altitud sobre el nivel del mar y la pureza de las mieles (Vásquez, 2022).

2.1.19. Batido

Después de someter la miel a un batido manual en recipientes de acero, cobre o madera durante un período específico, una vez alcanzado el estado deseado, se coloca en una batea, de preferencia de acero inoxidable o madera. A través de un proceso de batido intensivo e intermitente, la miel se enfría gradualmente, pierde su capacidad de adherencia y alcanza la consistencia adecuada para ser moldeada (Hernández - Cely & Torres - Zamudio, 2021).

2.1.20. Moldeo

El moldeo de la panela se realiza de una en una, ya sea utilizando moldes individuales o agrupando varias panelas en contenedores llamados "gaveras", con cabida desde 80 hasta 200 panelas por lote. En estos recipientes, la panela se endurece completamente, adquiriendo su forma final. Las panelas pueden tener diferentes formas, como redondas, cuadradas o en forma de pastillas, y también pueden variar en peso (Hernández, 2020).

2.1.21. Empaque y almacenamiento

Durante esta fase, es esencial asegurar que las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto se mantengan consistentes a lo largo del tiempo. También se requiere un control estricto del peso, color y textura. Después de ser etiquetado, el producto debe almacenarse en un entorno de baja humedad para prevenir la absorción de humedad por parte de la panela, y se debe evitar la exposición directa al sol y el contacto con olores intensos (Gallardo, 2017).

2.1.22. Factores tecnológicos de la producción de panela

La aplicación de métodos mecánicos para extraer el jugo de la caña de azúcar tiene una larga historia que se remonta a la antigua India y al sur de Asia. En América, la utilización de molinos con este fin se remonta al siglo XVI, coincidiendo con la fundación

de las primeras minas de cobre en Santiago de Cuba, lo que facilitó la producción local de estos equipos. Desde entonces, se ha trabajado en mejorar los molinos con el objetivo de aumentar la extracción de sacarosa de la caña de azúcar, al mismo tiempo que se reduce el consumo de energía y los gastos de mantenimiento (Eugenia et al., 2020).

2.2. Marco metodológico

Este estudio se destaca por utilizar una metodología bibliográfica, donde se realiza una revisión exhaustiva de literaturas científicas incluyendo estudios previos al proceso de extracción de jugo de caña de azúcar con trapiches, y por ende la producción de panela artesanal, en donde se fundamenta el análisis y recopilación de información de los últimos años, basándose al tema “Optimización del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por medio del Trapiche, para la elaboración de panela artesanal”, teniendo como objetivo general, analizar el proceso de extracción de jugo de la caña de azúcar.

Para complementar este estudio, surgió la necesidad de utilizar fuentes de investigación públicas en revistas científicas, para la elaboración y presentación de un estudio profesional, abordando páginas de búsqueda como:

- ScienceDirect
- Web of Science
- BIOSIS Previews
- Elsevier
- Biological Abstracts
- Scielo
- Latindex
- Dialnet
- Google book

Con ello gestores bibliográficos como:

- Zotero
- Mendeley.

2.3. Resultados

En base al análisis del proceso del jugo de caña de azúcar mediante trapiches, se pudo revelar diversas dificultades y limitaciones que afectan la eficiencia y el rendimiento del proceso de la extracción del jugo tales como:

Dificultad / Limitación	Descripción
Deterioro y mal funcionamiento de los materiales.	La fricción entre piezas y la presión hidráulica provocan el desgaste y daño en los ejes de los molinos.
Corrosión de los materiales.	Los jugos de la caña generan corrosión en los materiales utilizados en el trapiche.
Escasez de caña disponible para triturar.	La disponibilidad irregular de caña afecta la continuidad del proceso de extracción.
Tiempos perdidos en el proceso de extracción.	Interrupciones y retrasos en el proceso reducen la eficiencia y la producción.
Descarrilamientos en la mesa alimentadora.	Problemas operativos que afectan el transporte y alimentación de la caña en el trapiche.
Fallas en los conductores y cadenas de transporte de caña.	Problemas mecánicos que impiden el flujo adecuado de la caña hacia los molinos.
Pérdida de materia prima.	Las dificultades y problemas operativos resultan en pérdida de caña y material extraído.
Impacto en la rentabilidad y calidad del producto final.	La eficiencia reducida y la calidad comprometida afectan la rentabilidad y competitividad del producto elaborado.

Tabla 1: Dificultades y limitaciones encontradas en el análisis.

Con ello la escases de caña para triturar y los tiempos perdidos en el proceso de extracción son recurrentes, destacando la necesidad de implementar mejoras tecnológicas y prácticas operativas para optimizar la eficiencia de los procesos y la calidad de la elaboración panelera artesanal, ya que esta es muy demandada en la vida cotidiana.

En el análisis, perteneciente al proceso de extracción del jugo de caña de azúcar con el trapiche se pudo evidenciar, que en promedio, se logra una eficiencia de extracción del jugo del 60%, con variaciones dentro de este rango óptimo, considerado entre el 58% y el 63%, también se denotó que la cantidad de residuos en el bagazo es de un 40%, lo que sugiere una pérdida crítica de materia prima durante la ejecución del proceso de extracción, por medio de ello surge la necesidad de implementar medidas para mejorar la eficiencia del proceso, con el fin de maximizar el rendimiento y reducir el desperdicio de recursos primarios, sacando el máximo provecho de la caña de azúcar y crear en gran cantidad más panela para el consumo o exportación de la misma.

2.4. Discusión

En base al primer resultado se identifican varios desafíos que afectan la eficiencia y el rendimiento del proceso de extracción del jugo, incluyendo deterioros y mal funcionamiento de los materiales debido a fricciones y presión hidráulica, la corrosión de los materiales utilizados en el trapiche, los tiempos perdidos, las interrupciones y retrasos en el proceso. Afectando directamente en pérdidas de materia prima teniendo un impacto crítico en la rentabilidad y calidad del producto final disminuyendo en gran parte las cantidades de panela.

Por otro lado, en el siguiente objetivo se determina que la eficiencia del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar con el trapiche alcanza un promedio del 60% en un rango aproximado, donde se denota que no se aprovecha al 100% el jugo de la caña, ya que el 40% de ella es desperdiciada por contratiempos en el proceso de extracción y cierta cantidad se queda en el bagazo.

Para abordar estas dificultades es esencial tener un mantenimiento constante en los trapiches y los demás equipos utilizados para la extracción y la optimización o restricciones de las operaciones en su proceso para que se pueda aprovechar al máximo la caña de azúcar y por ende aumentar la producción de panela para satisfacer la demanda local y potencialmente expandirse al mercado.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusión

Al analizar a fondo los procesos de extracción del jugo con trapiches, como se ha mencionado anteriormente tiene desafíos críticos con respecto al aprovechamiento de la caña de azúcar al 100%, donde, así como hay desafíos también hay oportunidades para mejorar la eficiencia y la calidad del producto final.

La clave para optimizar el proceso de extracción radica en el mantener los quipos en condiciones óptimas, ya que la falta de higiene y mantenimiento de los equipos aporta gran importancia para aprovechar su función de una mejor manera, también un punto que sobresale en que se debe abordar los problemas relacionados con la disponibilidad de caña de azúcar y los obstáculos operativos para garantizar una producción constante y por ende radica en satisfacer la demanda en el mercado por parte del producto final que es la panela artesanal.

Al determinar la eficiencia de los procesos y la cantidad de residuos en el bagazo, se identifican oportunidades para optimizar las operaciones de forma adecuada, sin embargo un enfoque en la innovación de tecnologías ayuda de mejor manera en la producción de panela artesanal aumentando su rentabilidad y competitividad en el mercado, beneficiaria a los productores locales aprovechando al máximo los recursos disponibles de la caña de azúcar por medio del trapiches, como también contribuiría en la sostenibilidad ambiental al reducir el desperdicio de la materia prima y promover practicas eficientes en la producción de panela artesanal.

3.2. Recomendaciones

Para mejorar el proceso de extracción del jugo de caña de azúcar con trapiches se recomienda:

- Ejecutar programas de mantenimiento preventivo para los trapiches con el objetivo de evitar el deterioro y el mal funcionamiento de esta herramienta, y se pueda reducir así el desgaste y los daños en los ejes de los molinos.
- Considerar el uso de materiales resistentes a la corrosión en la construcción de los trapiches para mitigar el impacto de los jugos de la caña de azúcar en los componentes del equipo.
- Explorar alternativas para garantizar un suministro constante y suficiente de caña de azúcar como, por ejemplo, establecer acuerdos con los proveedores de cañas de azúcar o mejorar las prácticas de cultivo para aumentar su producción o equilibrarla.
- Mejorar la infraestructura del trapiche como lo es la mesa alimentadora y el material de transporte de la caña para prevenir descarrilamientos y fallos que afecten el flujo del jugo de la caña.
- Implementar medidas para reducir la pérdida de materia prima durante el proceso de extracción de jugo como, ajustar los parámetros de operación del trapiche, tener controles de calidad de la caña antes de su procesamiento e incluso implementar un sistema de monitores y seguimiento continuo del proceso de extracción.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias

A.-C. C. (2020). *UNIVERSIDAD SAN GREGORIO DE PORTOVIEJO CARRERA DE INGENIERÍA EN MARKETING.*

ASOBANCA. (n.d.). 2022.

Azúcar, D. E. (n.d.). *FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO DE LA CAÑA Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar.*

Camacho, C.-L. J.-E. K. (2016). *ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTOS ORGÁNICOS Y ANCESTRALES DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CALI.*

Chaves Solera, M. (2018). *LA CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE.*

Díaz, A.-I. C. (2012). *Dinámica del proceso de extracción de jugo a compresión de la caña de azúcar para la producción de panela.*

Eugenia, M., Useda, G., Diego, J., Guzmán, E., & Para, A. (n.d.-a). *Revista de Tecnología | Journal of Technology | Volumen 14 | Número 1 | Págs.*

Eugenia, M., Useda, G., Diego, J., Guzmán, E., & Para, A. (n.d.-b). *Revista de Tecnología | Journal of Technology | Volumen 14 | Número 1 | Págs.*

Felipe, J., & Bustamante, L. (2015). *LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum) PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA. CASO: NORDESTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.*

Fernández, A., Tuarez, D., Erazo, C., & Torres, E. (2021). Clarification of Sugar Cane Juice (Saccharum Officinarum) Through the Use of National Cocoa Muclago

(Theobroma Cacao L). *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i1.9583>

Gallardo, G. (2017). *ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS PROCESOS DE VAPOR INVOLUCRADOS EN UN TRAPICHE PANELERO.*

Generalidades. (n.d.). *FICHA TECNICA AZUCAR ESTANDAR INDUSTRIAL* (Vol. 204, Issue 871). www.alcanc.com

Gonzalez, F.-M. J.-P. X. (2020). *ESTANDARIZACIÓN DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE PANELA DE UN TRAPICHE X EN EL MUNICIPIO DE GUACHENE.*

Hernández - Cely, S. R., & Torres - Zamudio, M. (2021). Capacidades y tendencias tecnológicas en el proceso de producción de panela artesanal. Un estudio de vigilancia tecnológica. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, 15(15), 49–63. <https://doi.org/10.22463/24221783.3310>

Hernández, S. (2020). *Vigilancia Tecnológica en el proceso de transformación de la panela artesanal en el Corregimiento Laguna de Ortices del Municipio de San Andrés Santander.*

Jiménez, R., González, N., Hernández, M., & Ojeda, N. (2019). *La caña de azúcar como alimento funcional.* www.reibci.org

Joaquín, O., Álvarez, D., & Daniel Gonzalez Villalba, J. (2019). *GUÍA TÉCNICA.*

Lara, J. F., Orlando, V., & Rodriguez Muñoz, E. (2019). *UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN.*

Miguel, J., & Cabrera, G. (2019). *UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria.*

Morales-Ramos, V. 1 ; O.-M. A. 2 ; R.-C. J. 3*. (2017). *INNOVACIONES EN EL TRAPICHE PANELERO: LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA* (Vol. 10, Issue 11).

Nota Técnica Informativa. (n.d.). www.conadesuca.gob.mx

Ortiz, C. (2017). *EXTRACCIÓN Y SECADO DE FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA.*

Osorio, B., Andrade, M., & Torres, G. (2020). *La panela del Catatumbo, una alternativa agroindustrial con perfil Internacional La Panela del Catatumbo, an agroindustrial alternative with an international profile.* 41. <https://www.revistaespacios.com>

Parra, P. (n.d.). *CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DEL PROCESO DE PULVERIZACION DE PANELA AL VACIO.*

Parrales, J.-V. M.-G. M. (2019). *Dialnet- CaracterizacionEconomicaDeLosProductoresDeAguardie-8878595.*

SECTOR AZUCARERO. (2020). *SECTOR AZUCARERO DEL ECUADOR PANORAMA GENERAL.*

Soledispa-Rodríguez, X. E., Zea-Barahona, C. A., Osejos-Vásquez, A. E., & Delgado-Solís, H. P. (2019). Modelo de comercialización para las potencialidades productivas de los derivados de la caña de azúcar. *Dominio de Las Ciencias*, 5(3), 391. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i3.942>

USOS DE LA CAÑA Y SUS SUBPRODUCTOS. (2019).

Vásquez, M. (2022). *Elaboración de Panela Pulverizada a Partir de Tres Jugos de Caña de Azúcar (Saccarum officinarum L.) en Macaravita, Santander.*

Velazquez, D. (2023). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE AGROINDUSTRIA.*

4.2. Anexos



Ilustración 1 Caña de azúcar



Ilustración 2 Extracción del jugo de caña por medio del trapiche



Ilustración 3 Jugo de caña



Ilustración 4 Proceso de elaboración de la panela artesanal



Ilustración 5 Moldeo de la panela



Ilustración 6 Producto final