

ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PANELA Y TECNOLOGIAS  
VIABLES DE APLICACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

JULIAN FELIPE JAIMEZ PINZON

ID 000344612

SANDRA PATRICIA CUERVO ANDRADE

DOCTORA EN AGROCIENCIAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2021

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE TABLAS .....	15
INTRODUCCIÓN .....	14
1. ANTECEDENTES.....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. Objetivo General:.....	18
3.2. Objetivos específicos:.....	18
4. JUSTIFICACIÓN.....	20
5. ALCANCE .....	21
6. MARCO TEORICO .....	22
6.1. Diagnóstico Tecnológico.....	22
6.2. Proceso de producción .....	22
6.2.1. Extracción de jugos .....	22
6.2.2. Limpieza de los jugos.....	23
6.2.3. Clarificación de jugos .....	24
6.2.4. Evaporación de los jugos .....	24

6.2.5.	Concentración de los jugos .....	25
6.2.6.	Punteo.....	25
6.2.7.	Batido y enfriamiento.....	26
6.2.8.	Moldeo .....	26
6.3.	Empaque .....	26
6.4.	Eficiencia Productiva.....	27
6.5.	Productividad .....	27
6.6.	Regiones productoras del país .....	28
6.7.	Producción mundial de la panela .....	29
6.8.	Metodologías de selección .....	29
6.8.1.	Metodología TRIZ.....	29
6.9.	Metodología QFD: .....	31
7.	METODOLOGÍA.....	33
7.1.	Revisión bibliográfica del estado tecnológico del proceso productivo de la panela en el departamento de Santander. ....	33
7.2.	Revisión bibliográfica de las diferentes tecnologías existentes en el proceso de producción. ....	33
7.3.	Análisis y selección de la tecnología existente con potencialidad de ser implementada en el sistema productivo de panela en el departamento de Santander.....	34

8.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	35
8.1.	ESTADO TECNOLÓGICO ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PANELA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	35
8.1.1.	Técnicas de producción de panela en Santander .....	40
8.2.	TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN COLOMBIA Y EN LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PANELA MEDIANTE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA DISPONIBLE.....	56
8.2.1.	Recolección.....	56
8.2.2.	Tecnologías de extracción de jugos .....	61
8.2.3.	Tecnologías de transferencia de calor a los jugos extraídos de la caña de azúcar.....	74
8.3.	MATRIZ DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA. ....	92
9.	CONCLUSIONES .....	118
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	120

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales departamentos productores de panela en Colombia. ....	28
<b>Figura 2.</b> Países productores de panela en el mundo. ....	29
<b>Figura 3.</b> Trapiches en Santander. ....	36
<b>Figura 4.</b> Porcentaje de producción de panela de los departamentos del país. ....	36
<b>Figura 5.</b> Santander y sus municipios productores. ....	40
<b>Figura 6.</b> Proceso tecnológico productivo de la panela. ....	41
<b>Figura 7.</b> Trapiches movidos por motores a gasolina. ....	42
<b>Figura 8.</b> Trapiches movidos a motores eléctricos. ....	42
<b>Figura 9.</b> Prelimpiador Cimpa. ....	43
<b>Figura 10.</b> Paila aleteada. ....	45
<b>Figura 11.</b> Paila Plana. ....	46
<b>Figura 12.</b> Paila semicilíndrica. ....	46
<b>Figura 13.</b> Paila semiesférica. ....	47
<b>Figura 14.</b> Paila piro tubular. ....	48
<b>Figura 15.</b> Hornilla con cámara doble y parrilla. ....	50
<b>Figura 16.</b> Tren Jamaiquino. ....	51
<b>Figura 17.</b> Secado tradicional de bagazo. ....	52
<b>Figura 18.</b> Sistema de cubierta plástica. ....	53

<b>Figura 19.</b> Porcentaje de combustibles utilizados. ....	54
<b>Figura 20.</b> Sistema de transporte de caña por cable autopulsado. ....	58
<b>Figura 21.</b> Camión cargado de caña. ....	59
<b>Figura 22.</b> Góndolas arrastradas por tractor. ....	60
<b>Figura 23.</b> Carretas de cargas tiradas por bueyes. ....	61
<b>Figura 24.</b> Molino con cuarta maza. ....	64
<b>Figura 25.</b> Tolva Donnelly ....	65
<b>Figura 26</b> Tándem de molinos.....	66
<b>Figura 27.</b> Expulsores de tornillo. ....	69
<b>Figura 28.</b> Planta Piloto para la extracción de jugos de caña.....	70
<b>Figura 29.</b> Niveles de extracción promedio en molinos azucareros de Sudáfrica. .	71
<b>Figura 30.</b> Esquema de funcionamiento del difusor de caña.....	72
<b>Figura 31</b> Evaporador tipo Robert .....	74
<b>Figura 32.</b> Evaporador de película descendente .....	75
<b>Figura 33.</b> Prototipo de evaporación híbrido.....	76
<b>Figura 34.</b> Diseño del prototipo experimental de múltiple efecto. ....	78
<b>Figura 35.</b> Energía suministrada al proceso productivo de la panela. ....	79
<b>Figura 36.</b> Flujo de vapor requerido en cada efecto. ....	80
<b>Figura 37.</b> Evaporador de triple efecto Cimpa para la producción de panela. ....	81

<b>Figura 38.</b> Sistema a vapor móvil de 150kl/h de Cidecolombia.....	82
<b>Figura 39.</b> Hornilla tradicional.....	84
<b>Figura 40.</b> Hornilla CIMPA.....	85
<b>Figura 41.</b> Caldera bagacera.....	88
<b>Figura 42</b> Caldera pirotubular.....	89
<b>Figura 43</b> Caldera acuotubular.....	90
<b>Figura 44</b> Caldera acuopitubular .....	91

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Evaluación del cultivo de la caña panelera, Municipios de Santander.....	37
<b>Tabla 2.</b> Tabla de criterios para la selección de las pailas.....	49
<b>Tabla 3.</b> Molinos de caña de azúcar (trapiches paneleros) en el mercado local. ..	62
<b>Tabla 4.</b> Cámaras de combustión utilizados en Colombia.....	83
<b>Tabla 5.</b> Criterios y niveles de valoración .....	95
<b>Tabla 6.</b> Matriz cosecha manual.....	96
<b>Tabla 7.</b> Matriz cosecha mecanizada .....	97
<b>Tabla 8.</b> Matriz transporte de caña con animales.....	98
<b>Tabla 9.</b> Transporte de caña por cable autopropulsado .....	99
<b>Tabla 10.</b> Matriz molinos tradicionales de tres rodillos horizontales .....	100
<b>Tabla 11.</b> Matriz Tándem de molinos.....	102
<b>Tabla 12.</b> Matriz Extracción por difusión.....	103
<b>Tabla 13.</b> Matriz expulsos de tornillo.....	104
<b>Tabla 14.</b> Matriz de evaporador tipo Robert .....	106
<b>Tabla 15.</b> Evaporador de película descendente.....	108
<b>Tabla 16.</b> Matriz modelo de evaporación hibrido .....	109
<b>Tabla 17.</b> Matriz evaporadora de múltiple efecto.....	111
<b>Tabla 18.</b> Matriz de plantas de punteo por vapor .....	113

**Tabla 19.** Matriz Caldera piro-tubular.....114

**Tabla 20.** Matriz Caldera acu-tubulares .....116



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PANELA Y TECNOLOGÍAS VIABLES DE APLICACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

**AUTOR(ES):** Julián Felipe Jaimez Pinzón

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Sandra Patricia Cuervo Andrade

### RESUMEN

Esta investigación describe un diagnóstico tecnológico del proceso de producción panelero en Santander, teniendo en cuenta que es el departamento de mayor producción panelera en el país y también que Colombia es el segundo mayor productor de panela en el mundo después de la India, la industria panelera de Santander presenta como principal problemática la baja eficiencia del proceso debido a la alta producción artesanal, que en su mayoría es una práctica tradicional a cargo de las familias santandereanas con un bajo nivel de tecnificación de los trapiches. Con la información consultada se logró realizar un diagnóstico tecnológico del estado de los trapiches, la producción y el rendimiento en el departamento de Santander, la revisión bibliográfica de los desarrollos y estudios tecnológicos de otras regiones de Colombia y de los principales países productores de panela del mundo, se hizo para encontrar opciones tecnológicas que puedan mejorar el proceso productivo de panela en el departamento de Santander, permitiendo finalmente la construcción de una matriz donde se describe y evalúan las tecnologías encontradas en los diferentes procesos, así como sus ventajas y desventajas para la viabilidad de adaptación en el departamento de Santander. En el proyecto se analizaron diferentes propuestas para mejorar las condiciones tecnológicas de la producción de la panela mediante posibilidades en innovación del aprovechamiento de los recursos, la materia prima de los cultivos y la optimización del manejo térmico, hallando óptimas tecnologías como: el difusor en la extracción de jugos, evaporador de múltiple efecto, modelo de evaporación híbrido, tornillo cónico y detección variable, plantas de punteo por vapor, cable autopropulsado, hornillas cimpa; cabe resaltar que la implementación de dichas tecnologías es necesaria y contribuye a la mejora de la industria panelera e igualmente que se debe invertir en la capacitación de los productores para el manejo de dichas tecnologías.

### PALABRAS CLAVE:

Panela, diagnóstico tecnológico, tecnificación, eficiencia, Santander.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Universidad Pontificia Bolivariana - Seccional Bucaramanga - Dpto. Biblioteca

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** ANALYSIS OF THE PRODUCTIVE PROCESS OF THE PANEL AND VIABLE APPLICATION TECHNOLOGIES IN THE SANTANDER DEPARTMENT

**AUTHOR(S):** Julián Felipe Jaimez Pinzón

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Sandra Patricia Cuervo Andrade

### ABSTRACT

This research describes a technological diagnosis of the panela production process in Santander, taking into account that it is the department with the largest panela production in the country and also that Colombia is the second largest panela producer in the world after India, the panela industry Santander presents as its main problem the low efficiency of the process due to the high artisanal production, which is mostly a traditional practice in charge of Santander families with a low level of technification of the sugar mills. With the information consulted, it was possible to carry out a technological diagnosis of the state of the sugar mills, production and performance in the department of Santander, the bibliographic review of developments and technological studies of other regions of Colombia and of the main panela producing countries of the world, was made to find technological options that can improve the production process of panela in the department of Santander, finally allowing the construction of a matrix where the technologies found in the different processes are described and evaluated, as well as their advantages and disadvantages for the viability of adaptation in the department of Santander. In the project, different proposals were analyzed to improve the technological conditions of panela production through possibilities in innovation of the use of resources, the raw material of the crops and the optimization of thermal management, finding optimal technologies such as: the diffuser in the juice extraction, multiple effect evaporator, hybrid evaporation model, conical screw and variable detection, steam plucking plants, self-propelled cable, dome burners; It should be noted that the implementation of these technologies is necessary and contributes to the improvement of the panela industry and also that it is necessary to invest in the training of producers to handle these technologies.

### KEYWORDS:

Panela, technological diagnosis, technification, efficiency, Santander.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Universidad Pontificia Bolivariana - Seccional Bucaramanga - Dpto. Biblioteca

## **INTRODUCCIÓN**

La presente investigación sobre el estado actual de la producción panelera en el departamento de Santander, radica su interés en que la producción de panela es una de las principales actividades económicas del departamento, siendo Santander el mayor productor de panela en el territorio nacional. La producción de panela es una tradición en muchas familias santandereanas y colombianas, la cual se realiza en la mayoría de los casos gracias a los conocimientos heredados por parte de los miembros de una familia y que carecen de conocimientos técnicos sobre los diferentes subprocesos involucrados en la obtención del producto.

Desde la ingeniería se busca mejorar el proceso productivo de la panela, en pro de beneficiar la economía colombiana, al productor y consumidor nacional, con el objetivo de aumentar la productividad, utilidad y calidad en el producto, teniendo como referencia que Colombia es el segundo productor de panela en el mundo y que esto genera un gran impacto contribuyendo en mejorar la calidad de vida de todos los sectores que intervienen en el proceso productivo. Todo esto se puede lograr mediante la implementación y aceptación de nuevas tecnologías con el fin de que cada subproceso pueda tener un rendimiento y grado de tecnificación alto, lo que permitiría una mayor rentabilidad y desarrollo de la industria panelera en el departamento de Santander.

## 1. ANTECEDENTES

La producción de panela es una de las principales actividades agrícolas de Colombia. En el año 2003 la siembra de caña panelera aportó un 4,1% del valor de la producción nacional de la agricultura sin tener en cuenta el café y con el 1,9% de la actividad agropecuaria nacional. De la misma forma, participa con el 11,8% del área utilizada para cultivos permanentes y con el 6,5% de área total cultivada a nivel nacional, es por esto que esta actividad se ubica en el puesto quinto en el país, únicamente superada por el café, maíz, arroz y plátano. <sup>1</sup> El departamento con la más alta producción de panela en el país es (Cundinamarca), cuando se trata de producción de panela se deben tener en cuenta los siguientes pasos: lo primero es realizar una adecuación del terreno, siembra hasta el corte, luego la recolección y transporte al trapiche, lugar donde se da todo el proceso de transformación de la caña. En los diferentes procesos de transformación de la caña de azúcar, es donde por lo general se originan las pérdidas de materia prima lo que hace que la eficiencia global del proceso disminuya y que con lleve a una baja productividad.

Es claro que este proceso cada día trae consigo pérdidas que se ven reflejadas en el no aprovechamiento de las materias primas como debiera hacerse en un proceso debidamente tecnificado en el cual la productividad no se vea afectada por la no optimización de los diferentes subprocesos, lo que genera que compradores del producto decidan optar por otros endulzantes ya que se presentan retrasos en la entrega de productos y cantidades insuficientes a las requeridas. Para solucionar esto es necesario realizar una tecnificación la cual comienza con capacitar al trabajador en cuanto a la actividad que realiza en la planta, remplazar o reparar la maquinaria que presente fallas durante las distintas etapas del proceso todo esto con el fin de mejorar la productividad, adoptar nuevas técnicas de cultivo que aumenten el rendimiento por hectárea y mejore la tasa de conversión de jugo de caña a panela, implementar un sistema de planeación de producción en el cual se asignen las actividades a desarrollar por parte de cada operario durante el proceso de producción .<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ascanio M. O. y Hernández, A. Suelos cañeros en Veracruz y Oaxaca, cambios globales y ambiente. México: Editora Univ. Veracruzana. 2006. p.18

<sup>2</sup> Agrocadenas, CO.,2004. Cadena agroindustrial de la panela. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/anuario/Cadenaagroindustrialpanela.pdf> p.48

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector panelero se ubica en el segundo lugar de importancia de la agroindustria del país, detrás del café, con 218 mil hectáreas sembradas y generando 287.000 empleos directos, lo que equivale a 45 millones de jornales al año, representando el 12% de la población rural económicamente activa. Dicho esto, se pensaría que es un sector con grandes avances tecnológicos en los que sus diferentes subprocesos cuentan con una alta tecnificación, pero no es así de los 19.155 trapiches registrados en Colombia, 1.052 de estos ubicados en el Departamento de Santander solo el 56% cuentan con los lineamientos de la norma Sanitaria.<sup>3</sup>

Dicho esto, Santander se constituye como uno de los departamentos con mayor producción panelera en Colombia, con alrededor de 20 mil 549 hectáreas de caña de azúcar sembrada, lo cual representa un motor de desarrollo económico y de empleo importante. Sin embargo el 90,5% de los trapiches presentan bajos niveles de extracción de jugos, en promedio la extracción está en un 46%, es decir, que por 100 kilos de caña se obtienen 46 kilos de jugo y 54 kilos de bagazo, una pérdida de materia prima importante a la cual se suman diferentes problemas en el proceso productivo, entre los que se encuentra los siguientes: el 92.5% no poseen de métodos para la prelimpieza de jugos (prelimpiadores) y tanques de almacenamiento<sup>4</sup>; el 96,3% no tiene cuartos de almacenamiento, batido y moldeo. El 56% realizan el secado de bagazo en el mismo lugar donde se encuentra la hornilla, tan solo el 13% poseen bagaceras con un área determinada del trapiche, la falta de esta zona de secado hace que el bagazo se encuentre expuesto al aire libre lo que dificulta y aumenta el tiempo de secado en época de invierno además de presentar altos porcentajes de humedad, que afectan el funcionamiento y rendimiento de la hornilla. Todos estos datos muestran la gran problemática de la falta de tecnificación y aplicación de nuevas tecnologías en pro de un sector

---

<sup>3</sup> (23 de noviembre de 2016). Santander, mayor productor de panela en Colombia. Prensa virtual Gob Santander. Recuperado de <http://historico.santander.gov.co/index.php/prensa/item/15272-santander-mayor-productor-depanelaen-colombia>

<sup>4</sup> Mojica,A.Paredes,J.(Diciembre de 2004). El cultivo de la caña panelera y la agroindustria panelera en el departamento de Santander. Banco de la Republica de Colombia. Recuperado de:<https://www.banrep.gov.co/es/el-cultivocanapanelera-y-agroindustria-panelera-el-departamento-santander>

panelero para el departamento de Santander con una mayor rentabilidad y capacidad competitiva en el mercado.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Quiroz, M. (09 de febrero de 2019). Sector panelero de Santander busca alternativas de producción. Vanguardia. Recuperado de: <https://www.vanguardia.com/santander/guanenta/sector-panelero-de-santander-buscaalternativasde-produccion-KD467628>

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo General:

Evaluar el nivel tecnológico del proceso de producción de la panela en el Departamento de Santander mediante el uso de metodologías de evaluación de tecnología existente, con el propósito de presentar una propuesta tecnológica que mejore el proceso y contribuya a la competitividad del sector.

#### 3.2. Objetivos específicos:

1. Analizar el estado tecnológico actual del proceso de producción de la panela en el Departamento de Santander mediante la revisión de la literatura disponible.

**Indicador:** Se utilizarán bases de datos en las cuales se encuentre artículos científicos y proyectos investigativos realizados que proporcionen información sobre el proceso y técnicas utilizadas en la producción de panela en Santander.

**RESULTADO:** Diagnóstico del nivel de tecnología del proceso de producción de la panela en el Departamento de Santander, desde la recolección de la caña hasta la obtención del producto terminado.

2. Identificar las tecnologías existentes en Colombia y en los principales países productores de panela mediante la revisión de la literatura disponible.

**INDICADOR:** Se utilizarán bases de datos en las cuales se encuentren artículos científicos, proyectos investigativos y patentes realizadas que proporcionen información sobre las diferentes tecnologías utilizadas en la producción de panela.

**Resultado:** Tecnologías existentes en el proceso productivo de la panela.

3. Realizar un análisis comparativo de la tecnología existente para el proceso productivo de la panela a partir del uso de metodologías para la evaluación de tecnología.

**Indicador:** Evaluación de la tecnología existente recopilada con potencialidad para ser aplicadas en los diferentes trapiches del Departamento de Santander.

**Resultado:** Matriz comparativa de las tecnologías existentes la cual tendrá criterios de selección establecidos por metodologías de investigación y

Evaluación de tecnología; y una propuesta tecnológica para el mejoramiento y competitividad del proceso productivo en el Departamento de Santander.

## **4. JUSTIFICACIÓN**

La producción de panela en el departamento de Santander se constituye como una actividad económica frecuente y de sustento de muchas familias pero es evidente que hace un par de años las personas de este sector sufren por la crisis y los precios, dado que estos son establecidos por comercializadores y no por quienes los producen, generalmente estos precios son muy bajos comparados a los altos costos de producción que no permiten obtener las ganancias adecuadas a este duro trabajo y que se debe a la falta de aplicación de los diferentes factores tecnológicos en cada etapa del proceso productivo, lo cual afecta considerablemente la eficiencia y rentabilidad. Es por esto que se hace necesaria la investigación de las tecnologías implementadas en diferentes regiones del país, así como en los principales países productores de panela que busque la tecnificación del proceso y una mejora en puntos claves de la cadena de producción comenzando con la extracción de jugos de la caña, la generación térmica, las pérdidas de calor y los procesos de moldeo y desmolde de la panela.

## **5. ALCANCE**

Este trabajo pretende realizar un análisis del estado productivo de la panela en el departamento de Santander identificando las causas que afectan su eficiencia y rentabilidad. Mediante la investigación de las diferentes tecnologías aplicadas en otros territorios nacionales, así como en los principales países líderes en producción de este producto, identificando así cuáles de estas podrían ser de gran utilidad para una mejora y tecnificación en la cadena de producción, teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas, climáticas y demás recursos que se presenten como impedimento para una transformación de las diferentes técnicas tradicionales utilizadas hasta el momento en el departamento.

## **6. MARCO TEORICO**

### **6.1. Diagnóstico Tecnológico**

Un diagnóstico tecnológico permite la evaluación del funcionamiento de una cadena productiva mostrando las acciones que se están realizando de manera adecuada como las que se están realizando mal, logrando así implementar soluciones que corrijan y optimicen las malas prácticas identificadas (aplicado al objeto de estudio dicha organización sería la producción de panela). Mediante este se explica la gestión de la tecnología en una organización la cual está dividida en tres partes. Lo primero es hacer un diagnóstico interno de la tecnología de la empresa (inventariar y evaluar); seguido de este se plantea implementar una etapa que se basa en el diagnóstico externo tecnológico de los competidores, con el fin de conocer su funcionamiento y bagaje , y una tercera etapa en la cual se realice una valorización del estado tecnológico de la empresa frente a la competencia o ente comparado.<sup>6</sup>

### **6.2. Proceso de producción**

Un proceso de producción es una serie de pasos sucesivos que permiten convertir o transformar materias primas, elementos o sistemas. Este proceso se realiza gracias a la entrada de determinados factores que a medida que transcurra un tiempo establecido tendrán un mayor valor debido a su transformación. Entre los factores más habituales en una producción se encuentran los recursos, insumos, materia prima y capital de inversión.

#### **6.2.1. Extracción de jugos**

Este proceso se realiza mediante el paso de la caña de azúcar por el molino utilizado, las fuerza aplicadas sobre esta permiten la obtención de un guarapo y una cantidad de bagazo verde relativa, la cual posteriormente se utilizará como

---

<sup>6</sup> HERNANDEZ CELY, Sandra Rosario. Vigilancia Tecnológica en el proceso de transformación de la panela artesanal en el corregimiento Laguna de Ortices del Municipio de San Andrés Santander. Maestría en Administración de Organizaciones. Bucaramanga. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios – ECACEN.2020.

combustible en la hornilla. El guarapo obtenido además de contener agua y sacarosa contiene diferentes partículas contaminantes (tierra, vegetación y piedras) Así como minerales como el potasio, hierro, calcio, sodio, fósforo y el magnesio. Los porcentajes de azúcar presente en el jugo de la caña son del 13% en cañas de primer corte y del 20% en cañas de cultivo. Los sólidos solubles, son los azúcares totales (sacarosa, azúcares reductores y otros carbohidratos), fluctúan entre 15 y 24 °Brix. El bagazo obtenido de la moliendo es el combustible en la mayoría de los trapiches, este requiere un proceso de secados que se realiza por acción del medio ambiente en zonas llamadas como bagaceras. Los molinos utilizados en este proceso pueden ser de tracción animal o mecánica, los de tracción animal basan su funcionamiento en el movimiento de tres masas ubicadas en forma vertical en la que la masa central es movida por el movimiento ejercido por el animal por medio de un eje transmisor (madero). En el sistema mecánico, las masas están ubicadas de forma horizontal y son accionadas por la acción motriz de un motor (diésel, eléctrico o de gasolina) o por la acción de mecanismos como el tractor estacionario, sistemas hidráulicos o turbinas. La construcción de los diferentes molinos está relacionada con la capacidad, velocidad, diámetro de masas y potencia que permitirá que el molino tenga una mayor eficiencia.<sup>7</sup>

### **6.2.2. Limpieza de los jugos**

Mediante esta etapa se realiza el retiro de las partículas e impurezas del jugo de la caña por procesos físicos. Los pre limpiadores filtran las diferentes impurezas presentes en el jugo como bagacillo, tierra y diferentes partículas de vegetación. El funcionamiento de estos sistemas se realiza mediante la diferencia de densidades que tiene cada partícula o material extraño dentro del jugo. Los prelimpiadores están ubicados a la salida de cada molino para luego trasladar los jugos a las diferentes pailas o tanques de almacenamiento. El prelimpiador una vez el jugo llega del molino realiza una filtración de las impurezas gruesas y pesadas, luego de esto el jugo pasa por una superficie que retiene impurezas que flotan en el jugo para dar continuidad al segundo prelimpiador, el cual remueve las impurezas con densidades similares a la del jugo. Los prelimpiadores se construyen en ladrillo, láminas de hierro, acero, madera o fibra de vidrio. Para la fabricación de estos sistemas se tiene en cuenta que las láminas retenedoras de

---

<sup>7</sup> OCHOA, L., BEDOYA, J.P., DUFOUR, D., 1999. Estudio comparativo de la gestión empresarial de dos agroindustrias rurales del norte del departamento del Cauca, Colombia: Trapiches y rallanderías, Cali, Colombia, CIAT, 12 p.

impurezas no tengan ningún movimiento, y deban estar cubiertas en la parte superior para prevenir que caigan más residuos del molino.

### **6.2.3. Clarificación de jugos**

Esta fase busca la evaporación de más del 90% del agua presente en los jugos por medio del suministro de calor generado por la hornilla. Su función es quitar sólidos en suspensión, sustancias coloidales y la presencia de algunos colorantes. La clarificación se realiza mediante flotación, pues el método de la sedimentación no se puede llevar a cabo debido a que los jugos están a ebullición. La clarificación se efectúa mediante floculación o aglutinamiento de impurezas, gracias a la temperatura, tiempo y los agentes clarificantes como el mucílago y otros polímeros químicos.

El jugo pasa a la primera paila con una temperatura cercana a la del ambiente para comenzar un calentamiento hasta los 50 - 55 °C. El calentamiento del jugo genera una agrupación de partículas de tamaño y densidades mayores, aumentando también su velocidad de movimiento facilitando su separación. Se realiza una medida del pH de los jugos para saber su acidez y se agrega el fosfato monocálcico, a una temperatura promedio de 40°C, y seguido de esto se llega al punto alcalinizado, a un pH = 5.8; se realiza una agitación del jugo y se espera por veinte minutos, aumentando la temperatura hasta los 65 °C. Se agrega aproximadamente 80 gramos de fosfato monocálcico para cada 100 litros de jugo, esta cantidad puede variar a medida que se conoce la calidad de los jugos y su cantidad de fósforo, que obedece a la fertilización de la caña. Los jugos se trasladan a la paila clarificadora, donde se agregan agentes clarificantes, con el objetivo de aglutinar las impurezas que se encuentran presentes. La cantidad de solución mucilaginoso que se agrega debe estar acorde con la concentración de esta, tipo de caña, propiedades de los jugos y condiciones climáticas de la zona. Esta solución se adiciona cuando se llega a temperaturas superiores a 50°C, agregándose  $\frac{3}{4}$  partes de la solución y se deja en reposo, con el fin de que la capa de cachaza que se está conformando no se dañe y se pueda retirar las impurezas llamadas como cachaza negra a temperaturas entre los 75 y 82°C.

### **6.2.4. Evaporación de los jugos**

El calor recibido en el cambio de fase por el agua, permite eliminar aproximadamente el 90% del agua, aumentando el contenido de sólidos solubles a los 16 y 21°Brix hasta el punto de panela, a una temperatura de 120°C. Este proceso se lleva a cabo generalmente en tres pailas, dos pailas consecutivas que

le siguen a la clarificadora y la última a la hornilla. En esta etapa se aumenta el contenido de azúcar de 20 a un 86% en promedio. Este proceso es de gran importancia porque afecta directamente sobre la textura final de la panela, llamada "grano". Un alto contenido de azúcares reductores, afectan la consistencia final de la panela impidiendo su cristalización. Seguido a este proceso se adiciona clarol para eliminar coloraciones oscuras en el jugo, teniendo presente que esta sustancia en grandes cantidades es tóxica.

#### **6.2.5. Concentración de los jugos**

En esta fase final del proceso se llega a temperaturas superiores a los 100°C y se utiliza una paila concentradora o punteadora, la cual esta antes de la última paila evaporadora para evitar temperaturas elevadas que generen una quema de la panela. La vigilancia en esta etapa es fundamental ya que a temperaturas entre 100 y 125°C se acelera la formación de azúcares reductores hasta su duplicación; debido a esto la concentración debe realizarse en el menor tiempo posible y se debe revisar que las mieles tengan un pH de 5.8. Seguido a este proceso se adiciona un agente antiespumante y lubricante (cebo de animal, aceite de higuera, cera de laurel y manteca vegetal), con el fin de evitar que los jugos durante el proceso de ebullición superen la altura de la paila y evitando que las mieles se peguen a las paredes de la paila lo que produciría una caramelización y quemado de estas. El hornero es el que añade esta sustancia antes de dar el punto de panela, se obtiene entre 118 - 125°C con un contenido sólidos solubles entre 88 y 94 °Brix determinados por la consistencia, color y densidad de las mieles.

#### **6.2.6. Punteo**

Este proceso se realiza en la paila punteadora, donde se da el punto de panela y que se determina cuando la miel no corre y parece que hierve. Al momento del hornero batir la miel en el aire se forma una bomba. Para confirmar se hace una bola con la miel, y se lanza contra el suelo, si al golpear con el suelo produce un sonido seco, ya está el punto. La temperatura de ebullición de los jugos depende de la presión atmosférica, de los grados Brix y la pureza de las mieles. Esta temperatura de ebullición de las mieles se encuentra entre 116 y 122°C para panela cuadrada y 122 - 126°C para panelas redondas.

### **6.2.7. Batido y enfriamiento**

Este proceso se realiza en una batea, las mieles son agitadas, cuando se alcanza el punto de panela y han sido retiradas de la hornilla, para cambiar la textura y estructura perdiendo así su capacidad de adherencia. La panela se encuentra en la batea en estado líquido es operada por obreros que reciben el nombre de batidores, quienes tienen la función de agitar por medio de unas espátulas grandes que reciben el nombre de "mecedoras" y a medida que va pasando el tiempo la miel se va aclarando, después llega a una apariencia de que fuera a hervir y finalmente se seca. Durante el proceso se cumple con un agitado intenso de unos 10 a 15 minutos. Cuando las mieles entran en contacto con aire, los cristales de sacarosa crecen, adquiriendo porosidad y al momento de disminuir su temperatura se transforman en un sólido compacto, llamado panela; la densidad de las mieles desciende de 1.5 a 1.34 g/cm<sup>3</sup> en la panela. En cierta cantidad de trapiches se le agrega agua a las mieles para terminar de enfriarlas, con un tiempo de batido de alrededor de cinco minutos; sin agregar agua, el tiempo de batido está en un intervalo de quince a veinte minutos.<sup>8</sup>

### **6.2.8. Moldeo**

En la zona de moldeo se encuentran las mesas para las gaveras, mesa de enfriamiento, las bateas y los depósitos de lavado y escurrido. La panela "remasada" la recibe un operario, encargado de moldearla. La panela remasada se deposita en las gaveras (moldes en madera) y un obrero se encarga de distribuirlas a lo largo de ellas, para aplanar la superficie de estas. Posterior a esto se enfría y solidifica la panela. Las gaveras se sitúan sobre mesas y ambas se humedecen antes de situar las mieles en ellas, para evitar que se peguen en el molde. Cuando la panela se encuentra lista se desarman las gaveras y se llevan a un tanque con agua, se lavan y se dejan secar. Las gaveras tienen diferentes formas según el requerimiento de la panela, si es cuadrada, rectangular, pastilla de cresta redonda o triangular, o esférica.

## **6.3. Empaque**

Los tipos de empaques utilizados generalmente son, cajas de madera, cajas de cartón, hojas de caña o de plátano para la panela cuadrada; la panela de forma

---

<sup>8</sup> COLLAGUAZO, K., JÁTIVA, J. (2007). Construcción de un prototipo mecánico de batido para mejorar el proceso de producción de panela granulada artesanal. Tesis (Tecnólogo en procesos de producción mecánica). Quito: Escuela Politécnica Nacional.

redonda se embala en costales de fique; para el empaque de cantidades grandes de panela o panela molida se utilizan bolsas de polietileno transparentes; para panela rectangular cubiertas de celofán, puestas a su vez en cajas de cartón. La panela se distribuye por bultos o cargas; una carga son dos bultos o dos cajas.

#### **6.4. Eficiencia Productiva**

Es llamada también como eficiencia técnica se produce cuando la economía está manejando todos sus recursos de manera eficiente, provocando el máximo de producción con el mínimo de recursos. El concepto se forma en la frontera de posibilidades de producción (FPP) donde todos los puntos de esta curva son los puntos de mayor eficiencia productiva (es decir, no se logran más productos a partir de los recursos utilizados).

Esto ocurre cuando la producción de un bien económico se logra con el mínimo costo posible, dada la producción de otro(s) bien(es). De forma general cuando se logra, dada una necesidad de producir bienes, la mayor producción posible de un bien. En una situación de equilibrio a largo plazo para los mercados en competencia perfecta, es en el que el costo promedio es la base de la media de una curva de costos totales, es donde la curva de costos es  $CM = A(T)C$ .<sup>9</sup>

La eficiencia productiva necesita que todas las empresas funcionen con excelentes prácticas (best practice) en los procesos tecnológicos y de dirección. Al mejorar estos procesos, una economía habitual o empresa en particular pueden ampliar su límite de posibilidades de producción y aumentar sus niveles de eficiencia.

#### **6.5. Productividad**

La productividad es un concepto que se relaciona con la economía en el cual se combina la cantidad de productos obtenidos mediante un sistema productivo y los recursos utilizados en su producción. De esta manera, la productividad es un indicador de la eficiencia productiva la cual también se puede calcular en función del tiempo, esto significa que que mientras menos tiempo se emplee en obtener un producto determinado, podemos pensar que el sistema es más productivo. La productividad, entonces, se determina como la capacidad de un sistema

---

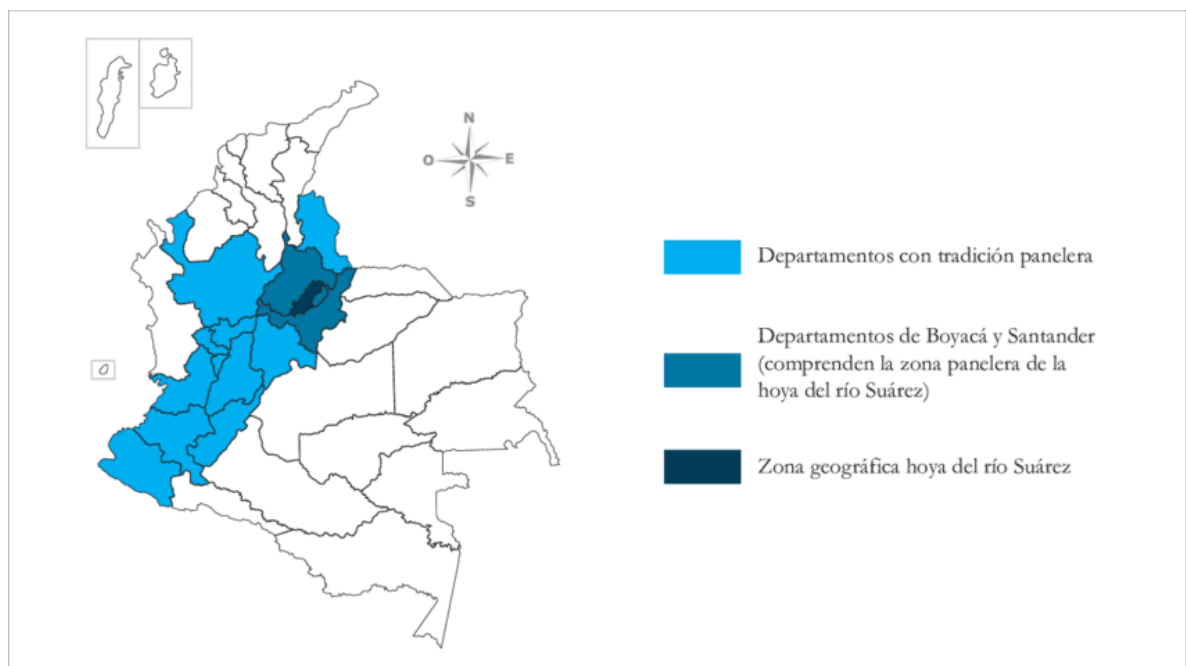
<sup>9</sup> RODRÍGUEZ B., GROTTRET V., 2000. Evaluación de la adopción e impacto de la tecnología en la agroindustria panelera y priorización de actividades futuras de investigación y desarrollo. Tibaitatá, Corpoica, 47p.

productivo de elaborar la serie productos requeridos y el nivel en que los recursos utilizados en el proceso productivo son aprovechados. A mayor productividad, utilizando los mismos recursos, da como resultado una mayor rentabilidad para la empresa. De esta manera que el concepto de productividad se emplea a una empresa industrial o de servicios, a un comercio particular, a una sección de la industria o, incluso, a toda la economía nacional.

## 6.6. Regiones productoras del país

La producción de panela en Colombia se efectúa con poca tecnología, desde los inicios de esta industria los 27 departamentos en que se fabrica lo hacen de una manera tradicional y artesanal, entre los cuales la mayor producción se presenta en Santander (18%) Cundinamarca (15%) y Boyacá (13%) según Fedepanela. Además, 350.000 grupos de familias se sostienen de la producción y comercialización de este alimento, según Fedepanela.

**Figura 1.** Principales departamentos productores de panela en Colombia.

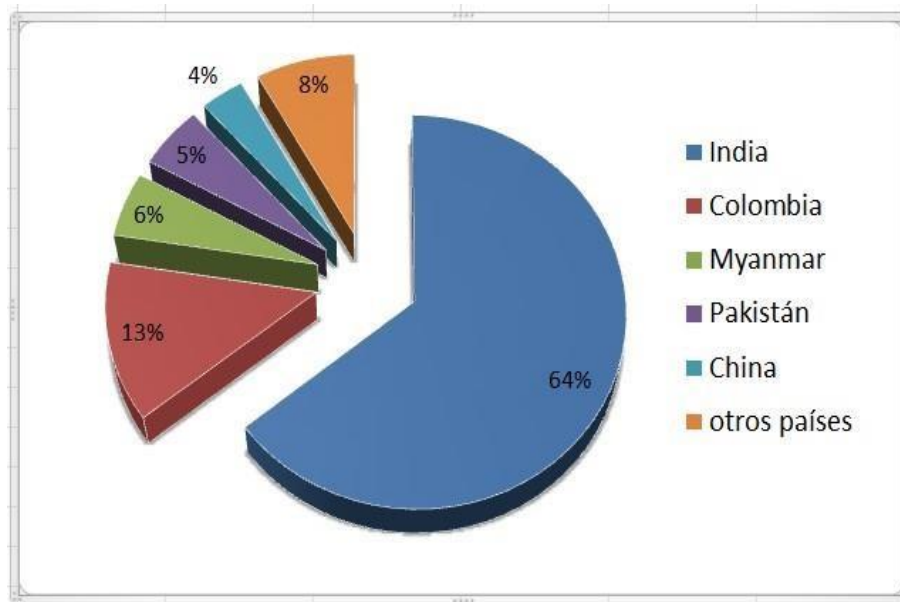


**Fuente:** Reconversión del sistema regional de producción de semilla de caña para la agroindustria panelera en Boyacá y Santander - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Principales-departamentos-productores-de-panelaenColombia\\_fig1\\_311944085](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Principales-departamentos-productores-de-panelaenColombia_fig1_311944085) [Consultado 1 Dic, 2020] departamentos productores de panela en Colombia.

## 6.7. Producción mundial de la panela

La producción mundial de panela o Azúcar No Centrifugado se encuentra concentrada, debido a que solo 5 países muestran una producción significativa. Colombia se ubica como el segundo mayor productor con un aporte promedio en los últimos años del 16%.

**Figura 2.** Países productores de panela en el mundo.



**Fuente:** Distribución mundial de producción de panela. Estudio del mercado de la panela en Colombia y el mundo. Elaborado en base a FAO. 2015.

## 6.8. Metodologías de selección

### 6.8.1. Metodología TRIZ

TRIZ es un sistema de herramientas, conocimientos y tecnologías basadas en modelos para crear ideas y formular soluciones innovadoras a un problema determinado. Esta metodología facilita herramientas y métodos para utilizar en la formulación de problemas, en el estudio de sistemas, en la observación de fallas y en los patrones de comportamiento de los sistemas. Apunta a instaurar un

acercamiento algorítmico a la creación de nuevos sistemas y al mejoramiento de sistemas obsoletos.<sup>10</sup>

Fundamentos de la metodología TRIZ:

En una investigación que Genrikh Altshuller plante una hipótesis en la cual para él hay principios universales de la creatividad, las cuales se presentan como la base de las innovaciones creativas que producen una evolución tecnológica. Mediante esta investigación, se identificaron unos principios que fueron codificados facilitando el planteamiento de un proceso de creatividad en el cual se distinguen tres premisas fundamentales de TRIZ:

- Los problemas y soluciones son parecidos en todas las industrias y ciencias, de manera que la categorización de las contradicciones de cada problema predice las soluciones creativas al mismo.
- Los estándares de una evolución técnica se repiten en todas las industrias y ciencias.
- La innovación creativa utiliza recursos científicos fuera del campo en el que fueron desarrollados.<sup>11</sup>

Principios filosóficos de TRIZ:

**Idealidad:** se refiere al aprovechamiento de los beneficios proporcionados por el sistema y la eliminación de los efectos nocivos y los costos asociados.

**Funcionalidad:** Parte fundamental del análisis de sistemas. Se utiliza para establecer modelos que muestren como trabaja el sistema, así como para evaluar cómo se generan los beneficios.

**Recursos:** Se presenta una búsqueda para su máxima utilización.

---

<sup>10</sup> Henrich Saavedra, Marco, Rojas Lazo, Oswaldo Aplicaciones de la metodología TRIZ en el diseño ergonómico de estaciones de trabajo. Industrial Data [en línea]. 2013, 16(1), 102-107[fecha de Consulta 17 de agosto de 2021]. ISSN: 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81629469012>

<sup>11</sup> TORRUBIANO, Juan. Metodología TRIZ para la creatividad e innovación. Asociación Madrileña de Calidad Asistencial. Santiago: Ernst & Young, 2013.

**Contradicciones:** Utilizadas para incrementar la funcionalidad; al disminuir la contradicción se aumenta la funcionalidad y se logra un nuevo nivel de desempeño.

**Evolución:** la tendencia de la tecnología es previsible y se utiliza como una guía para desarrollos futuros.

Para entender mejor esta metodología el equipo implicado debe estudiar unos rasgos y características que diferencien el conflicto a tratar, o el asunto que aqueja una solución. Al analizar este asunto en la teoría, se adquiere una forma abstracta. No obstante, esta abstracción esta ligada a la realidad de los hechos ya que la solución diseñada queda completamente integrada en el contexto de la misma.<sup>12</sup>

### **6.9. Metodología QFD:**

Despliegue de la función de calidad (o QFD, por sus siglas en inglés) es un procedimiento de diseño de productos y servicios que acumula las demandas y expectativas de los clientes y las convierte, en pasos sucesivos, a características técnicas y operacionales satisfactorias. En otras palabras, este despliegue de la función calidad, o QFD, brinda los siguientes aspectos a la hora de diseñar de un producto:

- Una visión objetiva de qué es lo que necesitan los usuarios en un producto y de las exigencias que debe tener.
- Una priorización de qué características son las más necesarias de a añadir, y cuáles no son relevantes.
- Un contexto de cómo está nuestro producto actual en comparación con la competencia, y cuáles son los aspectos a optimar para ser más competitivos.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> MARTIN, Juan; Encuentra la solución en un TRIZ; [En línea]. Cerem, International business school, 18 mayo 2018. [Citado el 12 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.cerem.es/blog/encuentra-la-solucion-en-un-triz>.

<sup>13</sup> YACUZZI, Enrique; MARTIN, Fernando; QFD: Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos. [En línea]. Citado 12 de agosto de 2021. Disponible en: <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>

**QUÉ:** debe contener los aspectos que los consumidores van a esperar del producto. En este punto hay que colocar todas las necesidades o aspectos, sin olvidarse ni despreciar ninguno, ya que a continuación se irán apartando los QUÉ menos relevantes.

**CÓMO:** Una vez analizados los aspectos que debe poseer nuestro producto (QUÉ), ahora hay que precisar los requisitos técnicos necesarios para que se cumplan dichos QUÉ determinados antes. Para ello, se construye e una lista de CÓMO conseguimos cumplir con ellos.

**Relación entre QUÉ y CÓMO:** Esta matriz está en el centro del QFD y se utiliza para relacionar los QUÉ de necesidad del usuario con los CÓMO. De esta manera logramos transformar los aspectos abstractos que contiene la lista de los QUÉ en características medibles de la lista de los CÓMO.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> BERNAL, Jorge J; Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo. (18 de octubre de 2012). [En línea]. Citado 10 de agosto de 2021. Disponible: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1. Revisión bibliográfica del estado tecnológico del proceso productivo de la panela en el departamento de Santander.**

La información obtenida es información de tipo secundaria, la cual se obtuvo de revisión de proyectos de investigación, base de datos de entidades gubernamentales, artículos científicos y diferentes fuentes de información certificadas, lo que permitió conocer el desarrollo y estado de producción de la panela, comenzando por una evaluación de los diferentes parámetros que influyen en la producción, el número de trapiches en funcionamiento, hectáreas cultivadas de caña, cantidad de panela producida, logrando así tener un panorama de la importancia de este sector en la economía del departamento. El estado de tecnificación en el proceso de producción de panela en el departamento de Santander es un factor de vital importancia, por lo tanto, la búsqueda incluyó un análisis de los diferentes procesos utilizados, la tecnología empleada para ello, tecnificación de operarios, estado de los equipos, conocimiento de equipos empleados, nivel de automatización en el proceso, eficiencia de extracción de jugos, eficiencia en procesos térmicos, logrando así analizar las diferentes pérdidas de recursos, como materias primas (caña de azúcar, productos químicos, combustibles, tiempo de producción) las cuales conllevan a una baja rentabilidad de este sistema productivo.

### **7.2. Revisión bibliográfica de las diferentes tecnologías existentes en el proceso de producción.**

Se consultó información de fuentes bibliográficas como libros, artículos, revistas, trabajos de investigación, tesis, fuentes de información gubernamentales, patentes de las diferentes tecnologías utilizadas en los sistemas productivos pequeños y medianos. La identificación de las diferentes tecnologías contempló el diagnóstico cualitativo y cuantitativo de equipos empleados, sistemas de automatización implementados, técnicas de extracción de jugos y los tratamientos térmicos utilizados.

La revisión de esta literatura nos permitió clasificar las diferentes técnicas y tecnologías utilizadas en las diferentes zonas de Colombia como también en los principales países productores de panela en el mundo, determinando así cuáles de estas puedan ser utilizadas para la mejora y optimización de las diferentes etapas de producción de la panela.

### **7.3. Análisis y selección de la tecnología existente con potencialidad de ser implementada en el sistema productivo de panela en el departamento de Santander.**

Basados en la información recopilada se realizó una evaluación de las tecnologías beneficiosas y con rendimientos comprobados para ser aplicadas en el departamento de Santander teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas, climáticas y la accesibilidad a estas; se definieron los criterios de evaluación tales como: Tiempo, rendimiento, requerimiento energéticos, mantenimiento, diseño, equipos, para el análisis de la tecnología existente, los cuales van contenidos en la matriz de evaluación tecnológica.

## 8. ANALISIS Y RESULTADOS.

### 8.1. ESTADO TECNOLÓGICO ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PANELA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

El departamento de Santander está ubicado al nororiente colombiano, ocupando el 2,7% del territorio nacional, con cerca de 31.000 km<sup>2</sup> distribuidos en 87 municipios. El relieve en esta región es diverso, lo que genera la presencia de varios pisos térmicos que le permiten a su vez tener una extensa gama de productos agrícolas y pecuarios<sup>15</sup>

En la economía del departamento de Santander predomina la agricultura como actividad económica, principalmente productos como el café, tabaco, cacao, caña de azúcar, entre otros, han sido el sustento de miles de familia a través de los años.

La producción de panela es una de las industrias agrícolas rurales de mayor tradición en Colombia, la producción de panela se realiza en pequeños trapiches campesinos mediante técnicas de procesamiento artesanal en los que predomina una alta intensidad de trabajo familiar y escasa tecnología.

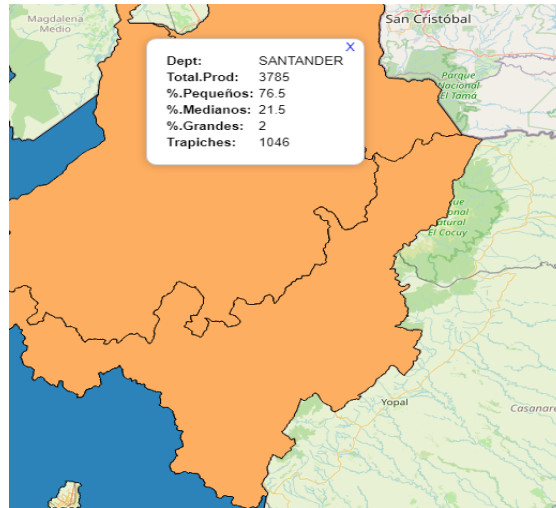
Según el Invima en 2016 en Colombia habían 19.155 trapiches paneleros registrados y para el 2020 Santander contaba con 1.046 trapiches.<sup>16</sup>, de los cuales según los registros del SIPA, Sistema de Información Panelero como se puede observar en la figura 3, solo el 2% son grandes trapiches, el 21,5% medianos y en su mayoría el 76,5% pequeños trapiches.

---

<sup>15</sup> Ministerio de Transporte –Plan vial Departamento de Santander MAPAS: Mapa modificado a partir del Mapa de Orografía publicado por La Sociedad Geográfica de Colombia – Academia de Ciencias Geográficas. [En línea]. [Consultado: 10 de marzo 2021]. Disponible: <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/santander/relieve.html>

<sup>16</sup>DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. [Sitio web]. [Consulta: 18 de abril 2021]. Disponible en: [https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Trapiches/MGATRAPICHES\\_2020\\_10\\_16.pdf](https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Trapiches/MGATRAPICHES_2020_10_16.pdf)

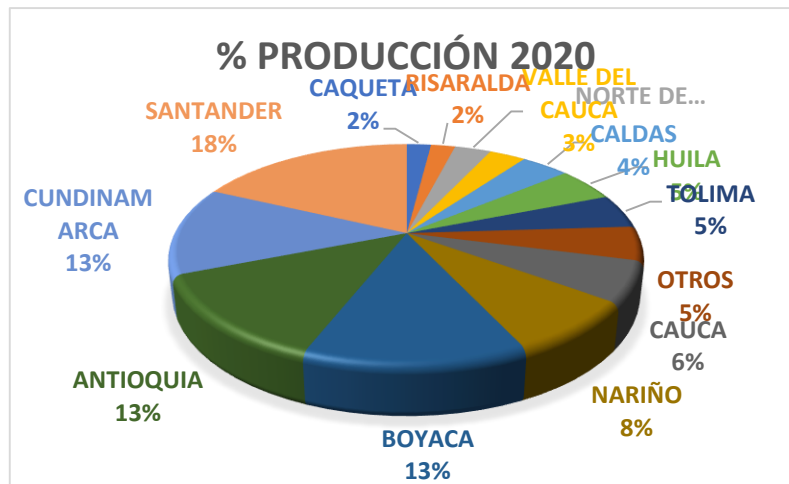
**Figura 3.** Trapiches en Santander.



**Fuente:** SISTEMA DE INFORMACION PANELERO. [Sitio web]. SIPA. [ Consulta: 10 de abril 2021]. <https://n9.cl/6233l>

Como se puede observar en la figura 4 el departamento de Santander es el mayor productor de panela en el país con un porcentaje del 18%, seguido por departamentos como Cundinamarca, Boyacá y Antioquia con un porcentaje del 13% y los departamentos con menor producción son Caquetá y Risaralda con un porcentaje del 2%.

**Figura 4.** Porcentaje de producción de panela de los departamentos del país.



**Fuente:** SISTEMA DE INFORMACION PANELERO. [Sitio web]. SIPA. [ Consulta: 10 de abril 2021]. <https://n9.cl/5sgwf>

En la tabla 1 se presentan la información de algunos municipios del departamento de Santander, datos de siembra, cosecha y producción de la panela, observando mayor rentabilidad en los municipios donde la infraestructura está mejor consolidada.

**Tabla 1.** Evaluación del cultivo de la caña panelera, Municipios de Santander.

<b>MUNICIPIOS</b>	<b>AREA SEMBRADA</b>	<b>AREA COSECHADA</b>	<b>PRODUCCION</b>	<b>RENDIMIENTO /HA (Tn)</b>	<b>No DE TRAPICHES ANTE INVIMA</b>	<b>No DE PRODUCTORES</b>	<b>CAPACIDAD DE TRAPICHE (Th/hora)</b>
<b>SUAITA</b>	1710	1700	115425	13,3	38	226	1-3
<b>GUAPOTA</b>	220	200	14850	4,5	6	18	1-3
<b>CONFINES</b>	945	935	67331	13	29	230	1-3
<b>OIBA</b>	780	770	52650	13	19	133	1-3
<b>PALMAS DE SOCORRO</b>	150	140	9000	12,5	8	83	1-3
<b>GAMBITA</b>	978	968	58680	10	68	816	1-3
<b>HATO</b>	284	374	15975	9	13	104	1-3
<b>GUADALUPE</b>	177	167	7965	9	12	36	1-3
<b>SOCORRO</b>	476	466	35700	13,5	10	30	1-3
<b>CHIMA</b>	48	40	2160	6,3	8	40	< 1

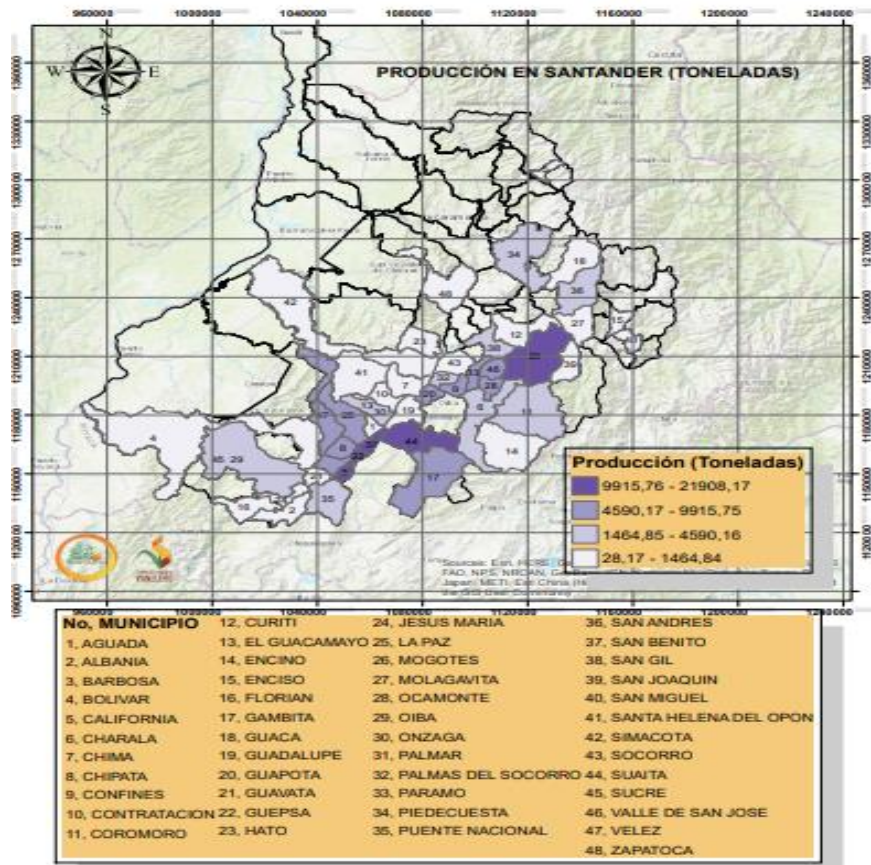
<b>SIMACOTA</b>	135	130	7087	12,5	22	176	1-3
<b>MOGOTES</b>	2250	2240	160312	13,8	52	364	1-3
<b>VALLE DE SAN JOSE</b>	730	724	49275	12,7	23	184	1-3
<b>PARAMO</b>	950	945	78375	12,7	17	85	1-3
<b>OCAMONTE</b>	1870	1870	154275	13,5	43	516	1-3
<b>CHARALA</b>	389	386	24225	10,5	20	80	1-3
<b>SAN JOAQUIN</b>	310	300	9300	7	46	138	< 1
<b>CURITÍ</b>	70	68	4200	8,2	2	8	1-3
<b>SAN GIL</b>	150	145	9000	10,1	9	36	1-3
<b>ENCINO</b>	35	33	1837	7,6	10	32	< 1
<b>COROMORO</b>	45	346	2025	10,3	12	40	1-3
<b>ONZAGA</b>	350	345	10500	6,3	47	141	< 1
<b>SAN BENITO</b>	2650	2640	178875	11,3	56	672	1-3
<b>GUEPSA</b>	2100	200	141750	12,3	37	555	1-3
<b>VELEZ</b>	980	978	66150	12,1	13	117	1-3
<b>CHIPATA</b>	1285	1276	77100	12,5	55	495	1-3

<b>LA PAZ</b>	675	672	35437	12,3	34	306	1-3
<b>BARBOSA</b>	482	480	36150	12,8	8	35	< 1
<b>GUAVATA</b>	34	33	1275	4,6	3	12	< 1
<b>BOLIVAR</b>	82	60	41140	9,78	4	37	1-3
<b>PUENTE NAL</b>	60	56	2700	7,9	5	18	1-3
<b>JESUS MARIA</b>	45	43	1687	5,6	4	22	< 1
<b>FLORIAN</b>	38	36	1260	4,5	4	13	< 1
<b>LA BELLEZA</b>	273	267	9450	4,6	10	76	< 1
<b>AGUADA</b>	73	70	3832	7,9	12	84	1-3
<b>SAN ANDRES</b>	230	226	13800	12,3	3	49	1-3
<b>ENCISO</b>	36	35	144	4,4	3	30	< 1

**Fuente:** Fedepanela y Secretaria de Agricultura 2021.

El departamento de Santander está conformado por 87 municipios, 48 de los cuales municipios son productores de panela, ubicando al departamento en el primer lugar en cuanto a producción, como podemos observar en la figura 5 los municipios de Barbosa, Guapota, Guepsa, San Benito y Suaita resaltados con color morado dentro del mapa del departamento, que representan los municipios con mayor producción de panela en toneladas del año 2020.

**Figura 5.** Santander y sus municipios productores.



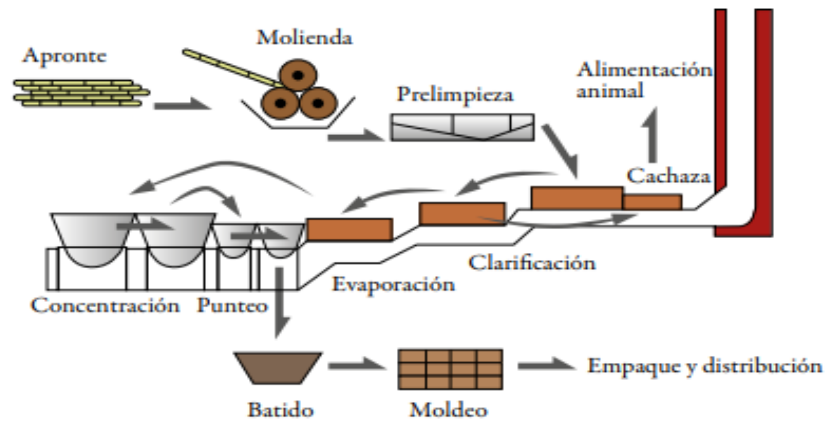
**Fuente:** SISTEMA DE INFORMACION PANELERO. [Sitio web]. SIPA. [ Consulta: 10 de abril 2021]. <https://n9.cl/4vd8v>

### 8.1.1. Técnicas de producción de panela en Santander

El trapiche se fundamenta en el molino, la hornilla, la bagacera y las mesas de moldeo. El núcleo del trapiche está dado por el molino, el cual exprime el jugo y da el rendimiento dependiendo del origen de la fuerza, sea humana, animal, motor diésel o eléctrico, la hornilla que es una especie de chimenea empieza como un túnel bajo los fondos y termina en el buitrón, por donde se evacúa el humo de la quema del combustible sea bagazo o leña.

Se puede observar en la figura 6 el proceso de producción de la panela, se describe el proceso de apronte (recolección), molienda, pre limpieza, clarificación, evaporación, punteo, concentración, batido, moldeo, empaque y distribución; el esquema tradicional del proceso de producción de panela.

**Figura 6.** Proceso tecnológico productivo de la panela.



**Fuente:** ORDOÑEZ DÍAZ, Martha Melizza; RUEDA QUIÑONEZ Laura Viviana. Evaluación de los impactos socioambientales asociados a la producción de panela en Santander (Colombia). Bogotá: Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria, 2017. p.6.

En los últimos años se tecnificaron métodos de siembra, no obstante, aún en muchos trapiches se utilizan las mismas herramientas, también se adoptaron nuevas maquinarias para disminuir el tiempo al momento de la siembra, a comparación de años anteriores donde el campesino permanecía días haciendo las zanjas o los arados, hoy en día esto ha mejorado y se realiza de manera rápida producto del uso de nueva maquinaria.<sup>17</sup>

Al inicio del nuevo milenio, los trapiches han experimentado cambios significativos en su modernización, los primeros trapiches utilizados en Santander eran de madera y se movían por medio de la fuerza humana, los siguientes por la fuerza motriz de bueyes, mulas o caballos y las mazas horizontales elaborados en piedra, madera, o combinación de ambos, en los lugares donde la fuerza del agua lo permitía se instalaron los trapiches hidráulicos, mismos que fueron substituidos en el tiempo por el popular trapiche de tres mazas denominado Chattanooga, producido por la compañía International Harvester Co, de Chicago Illinois e importado a Colombia desde 1930, después se empezaron a utilizar trapiches movidos por motores Diesel o gasolina, estos son más potentes y muelen mayor

---

<sup>17</sup> Cárdenas, L. F.; Espinosa, N.; González, O. V. y Guasca, H. C. (2016). Influencia de la tecnificación panelera en los medios de vida de productores rurales en la vereda Junco, San Benito (Santander). Revista de Sociología y Antropología: VIRAJES, 18 (2), 115-136. DOI: 10.17151/rasv.2016.18.2.8

cantidad de caña un ejemplo de ellos se puede observar en la figura 7 y el motor eléctrico de la figura 8<sup>18</sup>.

**Figura 7.** Trapiches movidos por motores a gasolina.



**Fuente:** CAMPOTENCIA S.A. Trapiche de caña con motor a gasolina. (2016). [Video]. Recuperado de: <https://cutt.ly/Xbj7wfA>

**Figura 8.** Trapiches movidos a motores eléctricos.



**Fuente:** GARCIA B, Hugo R, *et al.* Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Bogotá D.C: Fotomecánica, impresión y encuadernación. 2017. Recuperado de: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610\\_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

---

<sup>18</sup> Cárdenas. Op.cit.,p. 18.

El uso del molino de tres mazas horizontales presenta grandes inconvenientes por los niveles de contaminantes en los jugos extraídos, como restos de bagazos, tierra, entre otros, en la búsqueda de una solución a esta problemática de la región CIMPA diseñó el prelimpiador que se puede observar en la figura 9, cuya función es separar el material grueso y parte de las impurezas pequeñas dispersas en el jugo. El prelimpiador funciona de forma continua durante toda la molienda y utiliza como principio para la separación, la diferencia de las densidades de cada una de las partículas.<sup>19</sup>

**Figura 9.** Prelimpiador Cimpa.



**Fuente:** Prelimpiador. (2010). Induluz. <http://induluz.com/index.php/prod/164-prelimpiador>

La limpieza de los jugos extraídos de la caña continua con la clarificación, este proceso es llevado a cabo en el departamento de Santander mediante la acción combina del calentamiento suministrado y la función aglutinante de compuestos naturales como: balso (*Heliocarpus americanus* L.), el guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam), el caldillo blanco (*Trimufetta molisima* L.), el cadillo de mula

---

<sup>19</sup> GARCIA B, Hugo R, *et al.* Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Bogotá D.C: Fotomecánica, impresión y encuadernación. 2017. Recuperado de: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610\\_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

(*Pavonia spinifex* Cav), el juan blanco (*Hemistylis macrostachis* Wedd), debido al efecto aglutinante de estas sustancias cuando se alcanzan temperaturas entre 75° y 82°C se forman en la superficie una masa homogénea llamada cachaza negra, la cual se retira manualmente utilizando recipientes llamadas cachaceras.<sup>20</sup>

En el proceso final de la limpieza se utiliza la cal, proceso conocido en Santander como encalado que consiste en adicionar cal con el objetivo de regular el pH de los jugos, se requiere tener un control sobre el pH para lo cual se utilizan medidores de pH, equipos que utilizan un sensor que se basa en el método electroquímico, también se utiliza las cintas medidoras que son de papel tornasol que contienen una sustancia química; El pH debe encontrarse en valores alrededor de 5,8 lo que evita que se formen azúcares reductores y beneficia la clarificación de los jugos debido a que la materia orgánica se retira con mayor facilidad.<sup>21</sup>

Terminada la clarificación se inicia el proceso de concentración, donde los jugos están depositados en un conjunto de pailas o fondos metálicos en línea a través de los cuales se realiza un proceso térmico, en el cual se busca la evaporación del agua, para aumentar la cantidad de los sólidos solubles comenzando en 16 a 21 °Brix hasta 90 o 94 °Brix en el que se logra el punto de miel o panela, la evaporación del agua contenida en los jugo se logra por calentamiento, a una temperatura de 96°C se alcanza la concentración de sólidos apropiada para el proceso de concentración y moldeo de la panela que se realiza en una temperatura promedio de 120 °C..El tamaño, la forma y el material de elaboración de las pailas varían de acuerdo con las necesidades propias de cada trapiche, dependiendo de las costumbres del melero y el desarrollo tecnológico de cada región. Las pailas más utilizadas en Santander son de forma semiesférica, aunque también se utilizan planas, aleteadas, pirotubulares, semicilíndricas, las cuales han sido implementadas para lograr un mejor aprovechamiento energético. Se fabrican habitualmente en cobre, aluminio, acero inoxidable o hierro.<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> CABALLERO PEREZ, Ivan Ricardo; PALACIO OTÁLORA, Gustavo Adolfo; ACOSTA FLOREZ, Karen Lisette. Diseño y construcción de un sistema de concentración de jugo de panela. Facultad de ingeniería fisicomecánicas. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.2017.

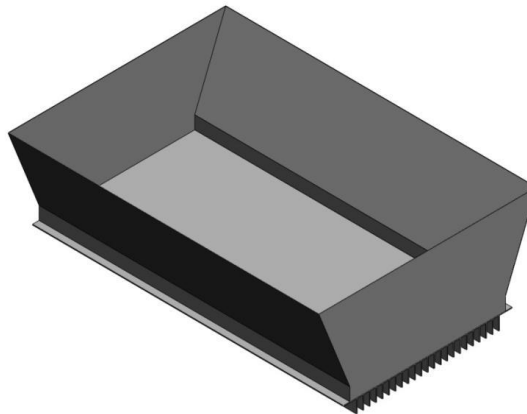
<sup>21</sup> Ibid.

<sup>22</sup> Cosecha, poscosecha y producción de panela. <http://www.fao.org/3/a1525s/a1525s05.pdf>

A continuación, se describen los diferentes tipos de pailas empleadas en Santander.

En la figura 10 se puede observar la paila aleteada que son contenedores de base rectangular cuya superficie exterior tiene aletas, las cuales están en contacto con los gases de combustión y se utilizan para aumentar el área de transferencia de calor, y así, aumentar el flujo de calor que alcanza a llegar al jugo de caña. Este tipo de paila es utilizada cuando el paso de jugos se efectúa utilizando la gravedad, siempre y cuando la concentración del jugo sea menor a 75°Brix. Para concentraciones mayores, se dificulta el flujo de los jugos.

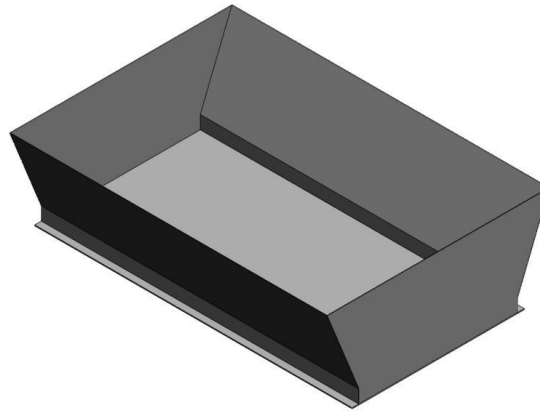
**Figura 10.** Paila aleteada.



**Fuente:** LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012, pag 23.

Similar a la paila aleteada, pero sin la presencia de las aletas representada en la figura 11 está la paila plana; es decir, la base de la paila es una superficie plana por ambos lados. Se recomienda cuando el paso de jugos se realiza utilizando la gravedad, siempre y cuando la concentración del jugo sea menor a 75°Brix. Para concentraciones mayores, se dificulta el flujo de los jugos.

**Figura 11.** Paila Plana.



**Fuente:** LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012, pag 24.

La paila semicilíndrica como se puede visualizar en la figura 12, la superficie de la base, la cual está en contacto con los gases y el jugo, es la mitad de un casquete cilíndrico, el cual aumenta el área de transferencia de calor. Empleada cuando el paso de jugos se realiza manualmente. Brindando una mayor resistencia a las deformaciones mecánicas debido a esfuerzos térmicos.

**Figura 12.** Paila semicilíndrica.



**Fuente:** LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012, pag 24.

La superficie del fondo de la paila semiesférica radica en un casquete redondo, soldado a unas cuñas. Recomendada cuando el paso de jugos se efectúa

manualmente, además de presentar una buena resistencia a las deformaciones mecánicas por esfuerzos térmicos. Figura 13.

**Figura 13.** Paila semiesférica



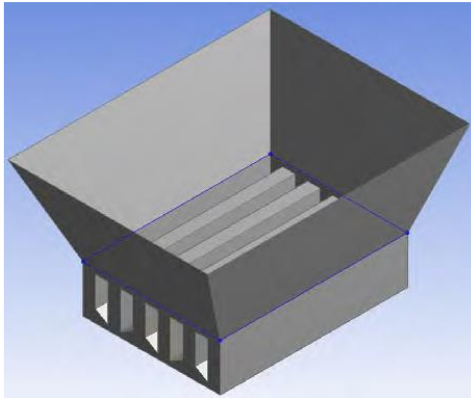
**Fuente:** LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012, pág. 25.

La paila pirotubular (se fabrica a partir de la configuración de una paila plana) figura 14 presenta en su parte inferior una serie de tubos que atraviesan de forma perpendicular el volumen interno de la paila. Es utilizada en el proceso de clarificación. Esta configuración de paila tiene en su asiento presenta una serie de tubos por los cuales circulan los gases con un área mayor de transferencia de calor.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012, pág.25.








**Figura 14.** Paila piro tubular.



**Fuente:** LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012, pág. 26.

La tabla 2 ha sido construida en base a las experiencias del departamento de Energía de la Universidad de Piura (Perú), se muestra una comparación de siete geometrías teniendo en cuenta unos criterios seleccionados (siendo 1 malo y 3 bueno), características como el área plana aprovechable en la hornilla panelera y la facilidad de circulación de los gases de combustión. Sin embargo, estas medidas sólo reconocen una elección de pailas posteriormente a la realización de simulaciones.

**Tabla 2.** Tabla de criterios para la selección de las pailas.

Criterios de selección geométrica							
Facilidad de limpieza	3	1	3	3	3	3	3
Facilidad de construcción	3	3	3	2	2	3	3
Área total de transferencia de calor	2	2	2	3	2	3	1
Resistencia de esfuerzos térmicos elevados	1	1	3	2	1	2	2
Total	9	7	11	10	8	11	9

**Fuente:** ESPINOZA PARIONA, Gian Carlo Paul Vicente. Estudio fluido dinámico y estructural de pailas paneleras piro tubulares Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.2017.

Los piro tubos de geometría trapezoidal presentan la mejor eficiencia térmica, pero muestran esfuerzos térmicos por arriba del esfuerzo último del material utilizado. De esta manera, se eligen los piro tubos de geometría rectangular redondeada, que permiten tener una eficiencia térmica muy buena, pero con la ventaja de presentar un mejor comportamiento estructural al mostrar menores esfuerzos térmicos.<sup>24</sup>

El aprovechamiento energético es uno de los grandes desafíos al que se enfrenta la industria panelera, aunque existe gran porcentaje de instalaciones rudimentarias, en otras zonas principalmente la conocida como la Hoya del río Suarez cuenta con mayores niveles de tecnificación, se han desarrollado soluciones técnicas, entre ellas la ventilación, que mediante el diseño de muros en celosía facilitan la circulación del aire, con la cubierta en desniveles que permite la expulsión del aire caliente de las hornillas; el aprovechamiento del desnivel en la

---

<sup>24</sup> ESPINOZA PARIONA, Gian Carlo Paul Vicente. Estudio fluido dinámico y estructural de pailas paneleras piro tubulares Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.2017.

hornilla; así el trapiche se ha concebido como una maquina optimizadora de energía, al principio se usaba caucho y leña para encender la hornilla, ahora se usa el bagazo seco, el mismo que sale como “desperdicio” después de sacar el jugo de la caña, en la hornilla CIMPA figura 15, se puede usar el bagazo todavía verde.

**Figura 15.** Hornilla con cámara doble y parrilla.



**Fuente:** Bernal, Hugo & C., M.V.Z. & M., I.Q. & B., I.A.. (2007). Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Puerta-de-alimentacion-en-hornilla-con-camara-doble-parrilla-vista-interior-y\\_fig14\\_306375006](https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Puerta-de-alimentacion-en-hornilla-con-camara-doble-parrilla-vista-interior-y_fig14_306375006)

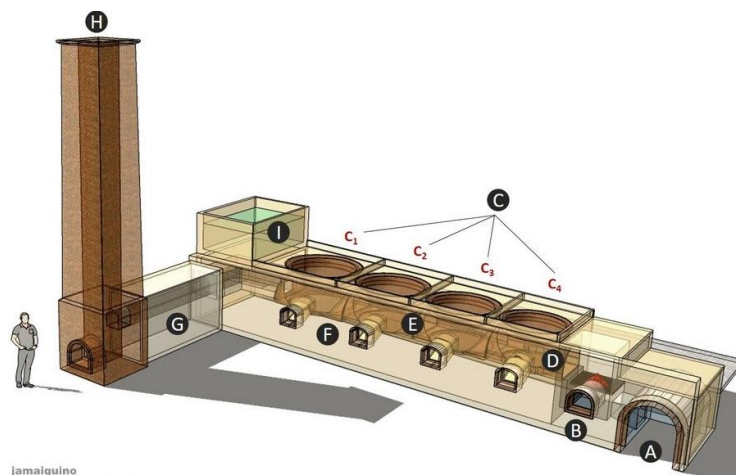
Los tipos de cámara de combustión en las hornillas paneleras más conocidos son: el tradicional, tradicional mejorado, y el tipo Ward-Cimpa. En la cámara tradicional el área que tiene la parrilla es muy grande, lo que hace que la entrada de grandes excesos de aire enfríe los gases y originen bajas temperaturas de combustión (650 a 850 °C, utilizando bagazo con un 30% de humedad), lo que produce una combustión incompleta y porcentajes elevados de CO entre el 6 al 10%.

La cámara tradicional mejorada, se fundamenta en un diseño parecido al de una cámara tradicional, pero con diferencias en la construcción de la parrilla y con el aumento del volumen de la cámara de combustión. En esta configuración de cámara el exceso de aire y de CO es menor (4 a 5%), de forma tal que se obtienen temperaturas de combustión mayores que en la tradicional (850 a 950 °C). En la cámara tipo Ward-Cimpa, la temperatura de combustión puede aumentar a los 1.100 °C y se libera menor cantidad de CO (cerca de 1%). En esta hornilla solo el 70% del aire necesario para la combustión ingresa a través de la parrilla, generando que suceda una primera combustión. Posteriormente, los gases de combustión (incluso volátiles) ascienden y, en la ubicación de la restricción o

garganta de la cámara, se combinan con aire restante o secundario (30%), que se provee a través de orificios ubicados para ello. La combustión se cumple en el espacio entre la garganta y la primera paila, llamada segunda cámara de combustión. Este tipo de cámara puede funcionar utilizando bagazo con humedades del 45%.<sup>25</sup>

El tren jamaiquino de la figura 16 consiste en un enorme fogón de ladrillo con usualmente cuatro grandes hornillas y un solo fuego. En cada hornilla hay una paila o fondo, que son recipientes abiertos de forma semiesférica, cada uno es más pequeño que el anterior, ya que la evaporación va reduciendo el volumen de líquido, en el departamento de Santander para la producción de panela se aplica la tecnología del tren Jamaiquino, con algunas mejoras que incrementan la eficiencia térmica como la hornilla Cimpa.<sup>26</sup>

**Figura 16.** Tren Jamaiquino.



**Fuente:** RUIZ, M, PUMARADA, L. (2017). El tren jamaiquino y los procesos de clarificación y evaporación del guarapo de caña. [citado 10 de febrero de 2021].

---

<sup>25</sup> GARCIA B, Hugo R, *et al.* Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Bogotá D.C: Fotomecánica, impresión y encuadernación. 2017. Recuperado de: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610\\_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<sup>26</sup> RUIZ, M, PUMARADA, L. (2017). El tren jamaiquino y los procesos de clarificación y evaporación del guarapo de caña. [Figura]. Recuperado de <https://redescubriendopuertorico.blogspot.com/2017/04/tren-jamaiquino-puerto-rico.html>

Disponible en: <https://redescubriendopuertorico.blogspot.com/2017/04/tren-jamaiquino-puerto-rico.html>

Con esta tecnología el uso del bagazo como combustible beneficia la producción panelera y logra que sea más amigable con el medio ambiente, el inconveniente principal es el secado del bagazo, para que el porcentaje de humedad se ajuste y pueda ser utilizado como combustible en las hornillas, el secado del bagazo en el sistema tradicional se realiza en un espacio denominado bagacera, en el cual se arruma el bagazo, como se puede observar en la figura 17. Con este proceso el tiempo de secado de bagazo es prolongado (debido a que en esta práctica el secado es por convección natural), las áreas utilizadas para este proceso son muy grandes. Estas estructuras se construyen en madera, cubiertas de teja de zinc o eternit.

**Figura 17.** Secado tradicional de bagazo.



**Fuente:** GARCIA, Hugo. Recomendaciones para el secado del bagazo, con energía solar, en trapiches paneleros. Bogotá. 2019. Recuperado de: <https://cutt.ly/QbksMgz>

El sistema de cubierta plástica es el modelo de cubierta de la figura 18. Esta estructura permite el aprovechamiento de la energía solar, este sistema utiliza una cubierta plástica transparente, tipo invernadero, que facilita la retención de la energía calorífica generada dentro de la estructura permitiendo eliminar los problemas de condensación, disminuir la sombra y aprovechar la energía que traspasa la cubierta, para el secado del bagazo, consiguiendo una disminución en el tiempo de secado.

**Figura 18.** Sistema de cubierta plástica.



**Fuente:** GARCIA, Hugo. Recomendaciones para el secado del bagazo, con energía solar, en trapiches paneleros. Bogotá. 2019. Recuperado de: <https://cutt.ly/QbksMgz>

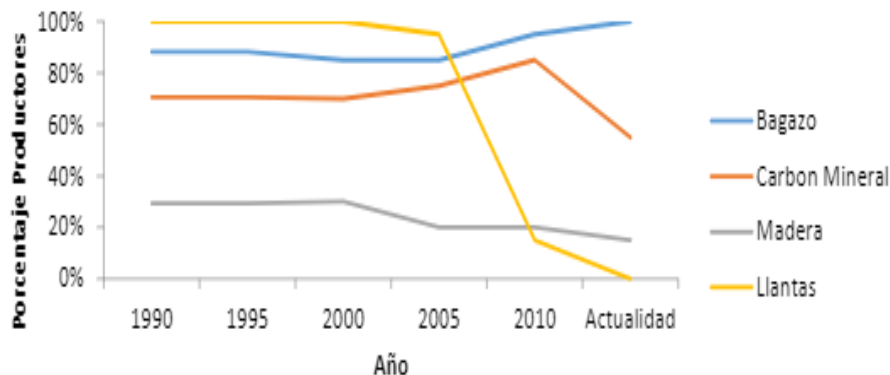
Entre los beneficios más importantes de las bagaceras plásticas se encuentra la disminución del tiempo de secado, el cual se convierte en pequeñas pérdidas de azúcares por fermentación, esto se ve reflejado en la obtención de una mayor cantidad de energía disponible y porcentajes de humedad final más bajos. Todo esto permite un mejoramiento en la eficiencia de la combustión y la capacidad del horno panelero, cuyos valores son inversamente proporcionales al contenido de humedad en el bagazo.<sup>27</sup>

El uso del bagazo como un combustible para el funcionamiento de los trapiches, has sido no solo beneficioso para los productores en cuanto a reducción de costos, sino también ha sido favorable para el medio ambiente, porque se ha logrado una disminución en el uso de llantas, madera y carbón mineral como está representado en la figura 19 ya que estos generan altas emisiones perjudiciales ´para el medio ambiente.

---

<sup>27</sup>GARCIA B, Hugo R, *et al.* Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Bogotá D.C: Fotomecánica, impresión y encuadernación. 2017. Recuperado de: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610\\_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Figura 19.** Porcentaje de combustibles utilizados.



**Fuente:** VEGA TELLO, Yecenia. Análisis de los cambios en el sistema de producción de panela. Trabajo de grado Magister en desarrollo rural. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.2018. 65 pág.

Posterior al proceso de limpieza, clarificación, vaporización de los jugos, que se realiza en las hornillas con el uso de los diferentes combustibles, se lleva a cabo el proceso de punteo, el cual consiste en identificar visualmente la formación de grandes burbujas o películas muy finas y transparentes o se toma una muestra de miel con una espátula se introduce inmediatamente en un recipiente con agua fría y se evalúa su fragilidad o quebrado, el encargado de evaluarla se le conoce como punteador y es quien toma la decisión de retirarla o no de la paila de acuerdo con estos resultados.

De acuerdo a la decisión del punteador, se procede al batido y moldeo que se realiza en recipientes de acero inoxidable donde se agita enérgicamente con una pala de madera por un lapso aproximado de 15 minutos, luego se deja reposar en la batea donde experimenta un crecimiento a causa del aire que logra incorporarse en el proceso de batido; El tiempo de batido y volumen alcanzado por las mieles depende del grano o textura, el cual básicamente se relaciona con los °Brix y la pureza de las mieles, luego cuando se seca y se enfría, se realiza el debido proceso de empacado de la panela.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> SALAZAR CASTAÑO, Juan Carlos. La asociatividad: Alternativa a los desafíos en la producción panelera en dos veredas, Suaita- Santander y Sasaima- Cundinamarca Trabajo de grado para el título de economista. Facultad de economía. Bogota D.C. Universidad piloto de Colombia.2014.

En general los trapiches de esta zona, incorporan tecnologías tipo CIMPA (Convenio de investigación para el mejoramiento de la industria panelera) sin embargo, no cuentan con sistemas de información en la etapa de transformación de la panela, esta información es vital para el adecuado funcionamiento de los equipos y procesos implementados; dichos sistemas de información corresponden a un plan de mantenimiento de los molinos, a realizar un control sobre el porcentaje de extracción de jugo, a planes de mantenimiento de los prelimpiadores, fichas técnicas del control del guácimo y cal, control de temperatura en los procesos de evaporación y concentración, entre otros procedimientos preventivos y correctivos.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Ibid.

## **8.2. TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN COLOMBIA Y EN LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PANELA MEDIANTE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA DISPONIBLE.**

En la búsqueda por mejorar y aumentar la rentabilidad del proceso de la panela, en diversas fuentes de información se obtiene que la principal causa de esta baja rentabilidad se deriva a la poca tecnificación implementada en el proceso, a pesar que el tradicionalismo se mantiene, en la mayoría de los trapiches colombianos se han iniciado procesos de tecnificación y el departamento de Santander no es la excepción.

A continuación, se mencionan algunas opciones tecnológicas implementadas en Colombia y países productores de panela.

### **8.2.1. Recolección**

#### **8.2.1.1. Cosecha:**

La cosecha de la caña de azúcar simboliza el génesis en el proceso de la producción de panela y azúcar, pues al terminar el proceso productivo en los campos de siembra se efectúa la recolección de caña, la cual es trasladada prontamente para realizar la extracción de los jugos que permitirá la obtención de la panela y los diferentes derivados de este producto.<sup>30</sup>

#### ***Cosecha manual:***

Es el proceso mediante el cual se realizan las acciones de corte y alza mediante la utilización de solamente la mano de obra manual. En la mayoría de zonas de producción todavía se realiza de esta manera, mediante la utilización de diferentes tipos de instrumentos, principalmente el machete o la mocha. Los pasos primordiales de la recolección manual son: el corte del tallo, el apartamiento del cogollo, la limpieza y el corte del tallo, la conformación de un bulto en la superficie del suelo y la carga al medio de transporte utilizado.<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> COMITÉ NACIONAL PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA CAÑA DE AZÚCAR. [Sitio web]. México: CONADESUCA. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadesuca/>

<sup>31</sup> Ibid.

### **Cosecha mecanizada:**

La cosecha mecanizada la cual se realiza en diferentes lugares de México cuenta con modernas máquinas que funcionan con equipos autovolcables (8 a 12 toneladas) para el paso de la materia prima a unidades de transporte de alta capacidad de carga, traccionados por tractores y/o camiones, dependiendo de la distancia a la fábrica. En otros sistemas, la cosechadora carga directamente sobre el equipo de transporte, ahorrándose el costo del autovuelco. La implementación de este tipo de sistemas está fuertemente asociada a la disminución del costo de cosecha y su efecto en la rentabilidad de los cultivos. Además es importante destacar que las nuevas cosechadoras tiene la capacidad de dejar una mínima cantidad de caña en el cultivo y se demuestran mejoras en la eficiencia y costo del transporte, debido a que la caña en trozos de menor longitud ocupa menos espacio que la caña larga, aumentando la capacidad de carga de los equipos de transporte.<sup>32</sup>

#### **8.2.1.2. Sistema de transporte de caña:**

El transporte de la caña del sector de siembra hacia el trapiche representa un proceso de gran importancia, se deben de tener en cuenta diversos factores al momento de diseñar cual sistema es el indicado, la operación de transporte se lleva a cabo por medio de carretas tiradas por animales, tractores con remolques, camiones o por cable auto propulsado

Según Osorio, el tiempo transcurrido durante esta operación debe ser como máximo de tres días, para evitar la destrucción del tallo y la acumulación de inversión de sacarosa, lo que provocó una disminución en la producción de panela y afecta su calidad.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> COMITÉ NACIONAL PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA CAÑA DE AZUCAR. [Sitio web]. México: CONADESUCA. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadesuca/>

<sup>33</sup> Osorio G. Manual: Buenas prácticas agrícolas - BPA - y Buenas prácticas de manufactura - BPM - en la producción de caña y panela. Medellín, Colombia: FAO; 2007. 200 p.

### ***Por cable autopropulsado***

Esta tecnología utilizada principalmente en la región andina permite transportar la caña en zonas de ladera, desde los lotes de cultivo hasta el trapiche, integrando el transporte mular (animal). Este sistema motriz está compuesto por un motor (figura 20a), un reductor y un freno, que generan el movimiento; una línea de transporte formada por estaciones de reenvío en los extremos y torres intermedias que soportan un mono cable portante-tractor (que mueve y soporta la carga) con movimiento continuo (figura 20b); pinzas para enganchar los paquetes de caña (figura 20c); y un sistema de control. Esta tecnología se diseñó para facilitar el cargue y el movimiento de caña en las zonas que se caracterizan por una topografía quebrada (pendientes superiores al 12%).<sup>34</sup>

**Figura 20.** Sistema de transporte de caña por cable autopropulsado.



**Fuente:** Deantonio-Flrido, L. Y., Ospina-Parra, C. E., Varón Ramírez, V. M., & López-González, X. (2020). Tecnologías para el sector panelero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (agrosavia).

Es económicamente rentable y se puede implementar, ya que permite un ahorro significativo (de más del 18 %) en los costos de transporte de la caña. El valor aproximado de instalación del sistema es de 110 millones de pesos (año 2016),

---

<sup>34</sup> Deantonio-Flrido, L. Y., Ospina-Parra, C. E., Varón Ramírez, V. M., & López-González, X. (2020). Tecnologías para el sector panelero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (agrosavia).

por lo que el costo de la inversión se recupera un poco después de cuatro años (con una tasa interna de retorno del 17,5 %).<sup>35</sup>

### **Camiones.**

Son vehículos con gran capacidad para llevar volúmenes grandes y que cuenta con una potencia en su motor para transportarla en la figura 21 se puede apreciar un camión cargado de caña panelera, que pueden tener desde 2 a 3 ejes en su sistema de rodamiento, y que permite el transporte en terrenos semiplanos y rocosos.<sup>36</sup>

**Figura 21.** Camión cargado de caña.



**Fuente:** Camión cargado con caña de azúcar. <https://www.alamy.es/camion-cargado-con-cana-de-azucar-image1542499.html>

---

<sup>35</sup> Ibid.

<sup>36</sup> LEAL ORTEGA, Sandra Eliabeth, *et al.* "Optimización del manejo y transporte de caña de azúcar en ingenio la magdalena, s.a.". Trabajo de grado ingeniero industrial. Universidad de el Salvador. 2005. [Consultado 10 junio 2021]. Disponible en <https://cutt.ly/7mCfu7z>

### ***Góndolas arrastradas por tractor.***

En el ingenio La Magdalena ubicado en El Salvador uno de los medios utilizados para transportar la caña son las góndolas que consisten en vagones en los que se deposita la caña de azúcar y son movidos gracias a tractores lo cuales son vehículos automotores dotados de ruedas que se incrustan fuertemente al terreno como se puede ver en la figura 22. Los tractores son utilizados en zonas montañosas y quebradas, teniendo en cuenta que las distancias de recolección a la del trapiche no deben ser mayores a 4 kilómetros. Estos sistemas de transporte pueden tener capacidades de carga de 8 a 7 ½ toneladas por góndola las cuales son llenadas mediante cargadoras mecánicas o obreros, llevando de 2 a 3 góndolas por tractor.<sup>37</sup>

**Figura 22.** Góndolas arrastradas por tractor.



**Fuente:** LEAL ORTEGA, Sandra Elizabeth, *et al.* “Optimización del manejo y transporte de caña de azúcar en ingenio la magdalena, s.a.”. Trabajo de grado ingeniero industrial. Universidad de el Salvador. 2005. [Consultado 10 junio 2021]. Disponible en <https://cutt.ly/7mCfu7z>

### ***Carretas.***

Son carros de madera formados por dos ruedas, barandales y un acople (madero largo), que sirve para sujetar a las bestias de cargas que por lo general son bueyes como se puede observar la figura 23. Las carretas deben ser manejadas por una

---

<sup>37</sup> LEAL ORTEGA, Sandra Eliabeth, *et al.* “Optimización del manejo y transporte de caña de azúcar en ingenio la magdalena, s.a.”. Trabajo de grado ingeniero industrial. Universidad de el Salvador. 2005. [Consultado 10 junio 2021]. Disponible en <https://cutt.ly/7mCfu7z>

persona durante su camino del lugar de la recolección al trapiche que no debe ser mayor a tres kilómetros entre el trapiche y la zona donde se encuentra sembrada la caña, la cantidad de carga está entre las 2 a 1 ½ toneladas de caña corta por recorrido. Habitualmente son utilizadas en zonas semiplanas y quebradas debido a su fácil manejo.

**Figura 23.** Carretas de cargas tiradas por bueyes.



**Fuente:** Transporte por carretas con uso de animales.

<https://www.alamy.es/carreta-de-bueyes-cana-de-azucar-cosecha-de-cana-de-azucar-republica-dominicana-el-caribe-america-image270791415.html>

## 8.2.2. Tecnologías de extracción de jugos

### 8.2.2.1. Molinos

Los molinos de rodillos, de varios tipos, son una tecnología probada y utilizada principalmente en gran parte de Asia ya que son fáciles de usar y mantener y se utilizan ampliamente en el sector. Por lo general, los molinos de rodillos utilizados en el sector de pequeña escala tienen una configuración de dos o tres carretes

colocados vertical u horizontalmente. Los rodillos, generalmente son de hierro fundido o acero.<sup>38</sup>

En cuanto a la capacidad extractiva de los molinos, debe señalarse que hoy se considera aceptable lograr entre el 50% y 70% de extracción de jugos en la primera molida (Tabla 3). La optimización de esta acción se logra mediante la utilización del tándem de molinos cañeros, no obstante persisten problemas que se encuentran relacionados con el desgaste y la falla de los materiales en los ejes de del molino que se deben al rozamiento entre las piezas y a la presión hidráulica ejercida por el sistema , al mismo tiempo que la corrosión la cual puede causar que los jugos de la caña de azúcar se contaminen con los diferentes materiales.<sup>39</sup>

**Tabla 3.** Molinos de caña de azúcar (trapiches paneleros) en el mercado local.

Molino	Capacidad [kg caña/h]	Extracción %	Potencia HP
Panelero R8S	1500	55-70	13
Panelero R12ACR	1800	55-70	15
Panelero R15ACR	2500	55-70	n.r.

**Fuente:** GUERRERO USEDA, María Eugenia; ESCOBAR GUZMAN, Juan Diego. Eficiencia técnica de la producción de panela. Bogotá, 2015.

La presión ejercida por el molino sobre la caña está determinada por el espacio entre el rodillo superior y los rodillos inferiores. Si el espacio es demasiado amplio, se producirá una extracción deficiente; si el espacio es demasiado pequeño, es posible que el bastón no lo atraviese o que los rodillos se atasquen. Los ajustes

---

<sup>38</sup> Sugar production from sugar cane. *Practical action technology challenging poverty*. 2009.

<sup>39</sup> GUERRERO USEDA, María Eugenia; ESCOBAR GUZMAN, Juan Diego. Eficiencia técnica de la producción de panela. Bogotá, 2015. p.111.

correctos de los rodillos deben determinarse en el lugar de la trituración, ya que dependerá de la variedad, el tamaño y la calidad de la caña.<sup>40</sup>

Algunas de las trituradoras más pequeñas, con capacidades de entre 200 y 500 kg de caña por hora, tienen rodillos colocados verticalmente y funcionan con animales, pero pueden modificarse para usar motores pequeños o motores eléctricos. Se puede esperar que una trituradora impulsada por un solo buey procese alrededor de 50 kg de caña por hora. Un conjunto diésel de 5 CV podría aumentar esto a unos 300 kg por hora.

Para tener una buena extracción en molinos motorizados, sin sacrificar equipos ni incrementar potencia, algunos fabricantes recomiendan operar bajo condiciones específicas de capacidad y velocidad. Según Díaz e Iglesias, con velocidades de 20 rpm o más, se reduce la extracción, se aumenta el consumo de energía y se desgastan los engranajes y partes del equipo.<sup>41</sup>

Las principales desventajas en los molinos tradicionales de tres rodillos horizontales son: la contaminación del jugo de caña con aceites y lubricantes del equipo, al desgaste de los cilindros, al deficiente mantenimiento, a la inadecuada evacuación de los gases del motor dentro de la unidad productiva. Algunos fabricantes de equipos han propuesto modelos novedosos que mitigan este problema, esquemas tecnológicos con cuatro rodillos horizontales y / o sistemas para evitar la contaminación cruzada de jugos. Sin embargo, su costo de adquisición es considerablemente mayor.<sup>42</sup>

### ***Molino con cuarta maza y tolva donelly.***

El molino de cuatro mazas, es un molino convencional con el agregado de la cuarta maza, El arreglo de la cuarta maza está relacionado con la abertura entre los diámetros medios de la cuarta maza y la superior como se puede observar en la

---

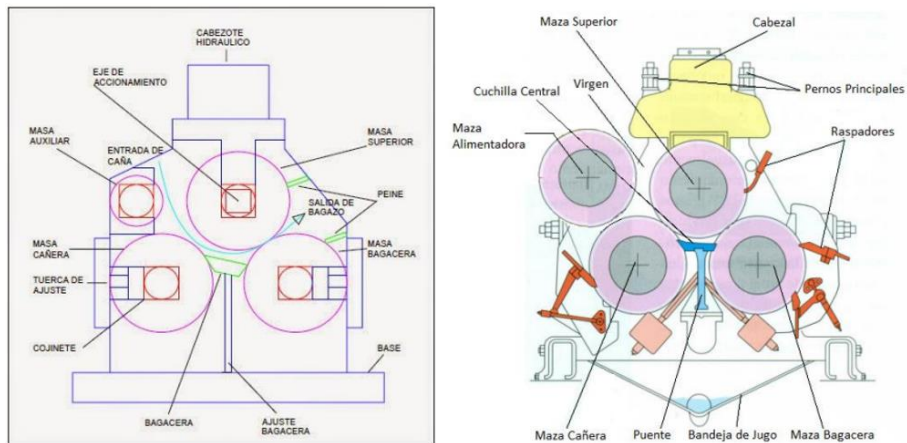
<sup>40</sup> Sugar production from sugar cane. *Practical action technology challenging poverty*. 2009.

<sup>41</sup> Díaz A, Iglesias CE. Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela. *Revista Ciencias técnicas agropecuarias*. 2012 enero-marzo; 21 (1): 53-7.

<sup>42</sup> Aldana DM, Lamadrid R. Implementación de mejoras tecnológicas para el módulo de producción de panela granulada de Santa Rosa de Chonta, Montero, Ayabaca, Perú. Piura, Perú: Universidad de Piura; 2007. 10 p.

figura 24, y es función de la abertura dinámica de salida. Van Hengel concluyó que, del primer al último molino, esta abertura era de siete a cinco veces la abertura dinámica de salida del molino correspondiente. La cuarta maza, aportó un suministro forzado, pero la disponibilidad de caña a la entrada no era continua; de esta manera para proporcionar una alimentación continua a Donnelly, tuvo que realizar un diseño de una estructura de alimentación con una tolva inclinada cerrada. De esta manera fue creada la llamada Tolva Donnelly figura 21.

**Figura 24.** Molino con cuarta maza.



**Fuente:** MESA FLEITES, Irma Teoslia Análisis del consumo de energía en el proceso de molida de la caña de azúcar. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Universidad central “marta abreu” de las villas facultad de ingeniería mecánica e industrial. Facultad de ingeniería Mecánica.2017, pág 20.

Donnelly observo que el ángulo de la placa alimentadora de bagazo en los molinos juega un papel importante en el efecto sobre la presión y por consiguiente sobre el agarre por fricción del bagazo sobre la maza cañera. Para tolvas de igual longitud, la presión se duplica al momento de incrementar el ángulo de alimentación de 45 a 90 grados, en la figura 25 podemos observar el diseño de las tolvas Donnelly.<sup>43</sup>

<sup>43</sup>GONZALEZ GUERRA, Ángel José Francisco. Análisis de desgaste y control de deformación de las cadenas rivetless 698 utilizada en los conductores intermedios de los Molinos del tándem b, zafra 2013-2014, ingenio magdalena, S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Guatemala.: Universidad De San Carlos. Facultad de Ingenieria,2014. 41p.

**Figura 25.** Tolva Donnelly



**Fuente:** MESA FLEITES, Irma Teoslia Análisis del consumo de energía en el proceso de molienda de la caña de azúcar. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Universidad central “marta abreu” de las villas facultad de ingeniería mecánica e industrial. Facultad de ingeniería Mecánica.2017, pág 28.

Algunas ventajas del molino de cuatro mazas con tolva Donnelly:

- Aumento de la capacidad de molienda, hasta en un 10%.
- Reducción del tiempo perdido, al eliminarse atoros de molinos.
- Aumento de extracción, al molerse un colchón uniforme y continuo.
- Facilidad para desviar la carga de un molino averiado.
- Menor costo de mantenimiento que los conductores intermedios.
- Eliminación de la pérdida de “finos” y mayor limpieza.
- Facilidad de inspección, limpieza y mantenimiento.
- Posibilidad de automatizar la alimentación del tándem.

### ***Tándem de molinos***

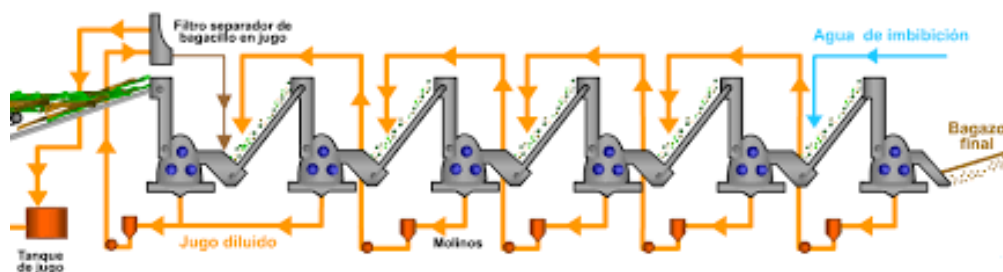
Los Tándem de molinos figura 26, utilizados en el Ecuador constan de entre 4 y 8 unidades de molienda cuyo proceso se describe a continuación.

La caña previamente lavada con agua caliente y preparada (picada) es llevada por medio de un conductor al primer molino del tándem en donde están girando las mazas a bajas revoluciones entre 6 y 7 rpm, la caña forma un colchón, el cual pasa entre las mazas, las que lo trituran en forma conjunta logrando así la extracción

del guarapo el cual contiene la sacarosa que es la azúcar pero sin cristalizar, la extracción es grandemente beneficiada por la carga que el cabezote ejerce sobre la maza superior.

La caña después de pasar entre las mazas del primer molino cae a otro conductor que la transporta al siguiente molino en donde se repite el proceso anterior, y así se sigue hasta llegar al último molino del tándem, en donde el bagazo cae a un conductor que lo lleva hacia las calderas para ser quemado y, así producir vapor de agua, proceso que podemos observar en el tándem de molinos.<sup>44</sup>

**Figura 26** Tándem de molinos



**Fuente:** TRUJILLO, Carlos Alberto. Determinación de pérdidas de sacarosa en agua de lavado en el ingenio riopaila castilla s.a. planta riopaila. Trabajo de grado tecnología química. Pereira.: Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Química, 2014. 13p.

El guarapo extraído del primer y segundo molino, caen en sus respectivas bandejas y, luego fluye por medio de canales a un colador de bagacillo y, seguidamente, cae al tanque de jugo mezclado, en donde funciona un desarenador, luego, este jugo es enviado directamente a la fábrica.

La caña que se va a triturar en el último molino se le aplica agua caliente (55° c aproximadamente) este proceso conocido como imbibición es con el objeto de mejorar la extracción; el guarapo que es extraído de este molino cae a la bandeja, pasa al colador y luego a su comportamiento en el tanque de maceración, de allí se extrae y es aplicado a la caña que va a ser triturada por el penúltimo molino, el

<sup>44</sup> Fuente: TRUJILLO, Carlos Alberto. Determinación de pérdidas de sacarosa en agua de lavado en el ingenio riopaila castilla s.a. planta riopaila. Trabajo de grado tecnología química. Pereira.: Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Química, 2014. 13p.

guarapo extraído en este cae a su respectiva bandeja, pasa al colador de bagacillo y luego a su compartimiento en el tanque de maceración y así sucesivamente hasta llegar al tercer molino, en donde el guarapo extraído del compartimiento del tercer molino en el tanque de maceración es aplicado a la caña que se va triturar el segundo molino, éste es proceso de maceración. La finalidad de este procedimiento es el de mejorar la extracción de azúcares que contiene la caña.<sup>45</sup>

El funcionamiento conjunto de todas las partes que forman el tándem, está sincronizado de tal manera que el proceso sea continuo. Es fundamental que el molino se encuentre bien alineado y a nivel, especialmente las vírgenes, mazas, peines, etc., ya que una alineación inadecuada afecta su funcionamiento y deteriora sus componentes prematuramente, disminuyendo la capacidad de extracción el molino.<sup>46</sup>

### ***Ahorro energético en tándem de molinos de caña de azúcar mediante regulación de presiones hidráulicas***

La investigación realizada en la universidad de las Tunas en Cuba tuvo como objetivo crear posibilidades para disminuir el consumo energético regulando las presiones hidráulicas de tal manera que no se vea afectada la eficiencia del proceso de extracción, se realizaron las pruebas en un tándem de seis molinos en el cual se variaron las presiones en los molinos intermedios según un diseño estadístico factorial completa. Como variables independientes se estableció: las presiones hidráulicas en molinos intermedios; y como dependientes: la demanda de potencia, el % pol y % humedad. Como resultado del proceso para las condiciones del experimento, la utilización de presiones hidráulicas de funcionamiento menores en 3,45 MPa en molinos intermedios, no afecta los procesos de extracción de sacarosa, y si disminuye en un 8,12% la demanda de potencia.

---

<sup>45</sup> Fuente: TRUJILLO, Carlos Alberto. Determinación de pérdidas de sacarosa en agua de lavado en el ingenio riopaila castilla s.a. planta riopaila. Trabajo de grado tecnología química. Pereira.: Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Química, 2014. 13p.

<sup>46</sup> Ibid.

### ***Automatización de molienda***

Los Tándems de molinos con accionamiento combinado o individual de las diferentes mazas requieren diferentes niveles de automatización y control. En los tándems de accionamiento combinado por la propia turbina o motor eléctrico la variación de la velocidad de cada maza se hace por igual, la velocidad lineal siempre es igual para las diferentes mazas, por el contrario, la velocidad angular es diferente en cada una. La implementación de estos sistemas ha generado que se realice mejor un accionamiento individual de las mazas con el motor eléctrico, conservando la velocidad lineal igual para todos, y la velocidad angular que varía proporcionalmente en cada maza, a través de una relación.

En Usina un trapiche ubicado en Brasil se realizó una automatización donde se mejoró el control de la molienda, logrando el accionamiento de las mazas con sus respectivas velocidades individualmente, facilitando una mejor extracción y menos humedad en el bagazo. Aumentando la capacidad de la moliendo debido a la eliminación de la etapa de accionamiento, la cual consume una potencia y crea fricción, permitiendo que el accionamiento se haga cargo solo de la extracción.

Los resultados que se obtuvieron tras el arranque del sistema en el Ingenio Trapiche exponen que el sistema es una solución confiable, flexible y técnicamente calificada. El hecho de predefinir el flujo deseado en el proceso y mediante cálculos matemáticos definir las rotaciones de cada maza suministran una gran calidad y rendimiento en la extracción de jugos de la caña para la producción de azúcar no centrifugada, igualmente el uso del bagazo como combustible ideal para las calderas.<sup>47</sup>

#### **8.2.2.2. Expulsores de tornillo**

Los expulsos de tornillo de la figura 27 no se utilizan comúnmente en la industria azucarera a pequeña escala, aunque son más eficientes que los molinos de rodillos. Normalmente, un solo expulsor tendrá la misma eficiencia de extracción que un tándem de molino de tres o cuatro rodillos. Su uso en el sector a pequeña

---

<sup>47</sup> DÉREK, Stesse. Concepto de automatización de molienda adoptado en el Ingenio Trapiche, con el uso de la velocidad lineal. Brasil. [Consulta 29 de julio 2021]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.smar.com/espanol/articulos-tecnicos/concepto-de-automatizacion-de-molienda-adoptado-en-el-ingenio-trapiche-con-el-uso-de-la-velocidad-lineal>

escala se ha limitado a máquinas experimentales que han demostrado ser poco fiables, por lo que requieren más mantenimiento.

**Figura 27.** Expulsores de tornillo.



**Fuente:** Sugar production from sugar cane. *Practical action technology challenging poverty*. 2009.

En el municipio de Santander (Colombia), en la Universidad Pontificia Bolivariana, un grupo de investigadores desarrollaron lo que llamaron 'Planta piloto para la extracción de jugos de caña' que podemos observar en la figura 28, en la cual se buscó la implementación del método del tornillo, que con anterioridad se había utilizado en otras industrias como la de la palma de aceite, está vez en la extracción del jugo de caña con el objetivo de incrementar hasta en un 15% la extracción del jugo de caña aumentando a su vez la producción de panela, Carreño Olejua uno de los investigadores afirma que: "Con este método del tornillo las presiones en el sistema de extracción no varían y si varían lo hacen de manera controlada, lo que garantiza que no disminuya de a poco el nivel de extracción, como si ocurre con la técnica tradicional. Nuestro sistema ha logrado obtener, en promedio, rendimientos de hasta el 78 %".<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> En Santander crean máquina que mejora la producción de panela [En línea]. Colombia, 13 de abril 2016. Recuperado 29 Julio de 2021. Disponible en: <https://www.periodico15.com/santander-crean-maquina-mejora-la-produccion-panela/>

**Figura 28.** Planta Piloto para la extracción de jugos de caña.

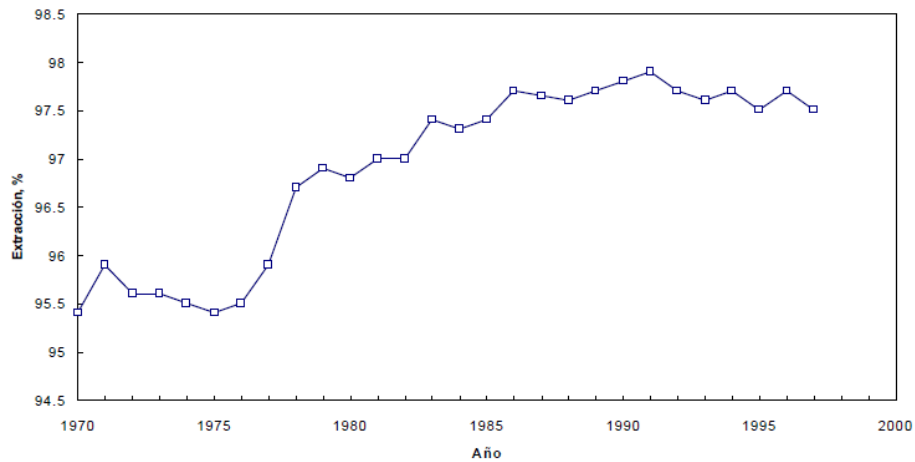


**Fuente:** Planta colombiana perfecciona la extracción del jugo de caña [En línea]. Colombia, 15 de marzo 2016. Recuperado 29 Julio de 2021. Disponible en <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16537322>

### **8.2.2.3. Extracción por difusor**

La implementación del difusor principalmente acogida en países de América como Cuba y Brasil tiene grandes ventajas en el proceso de extracción de jugos con respecto a los procesos tradicionales de extracción de jugos de caña, ventajas que han sabido aprovechar en Sudáfrica donde la mayoría de extracción se realiza por difusores logrando un incremento significativo como se puede observar en la figura 29.

**Figura 29.** Niveles de extracción promedio en molinos azucareros de Sudáfrica.



**Fuente:** MOYA RODRÍGUEZ, Jorge L. Difusión vs molida. [En línea] Universidad Federal da Bahia, 2000. [Recuperado el 29 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/291166815>.

El proceso de extracción en el difusor es el resultado de tres subprocesos: Lixiviación, difusión y presión.

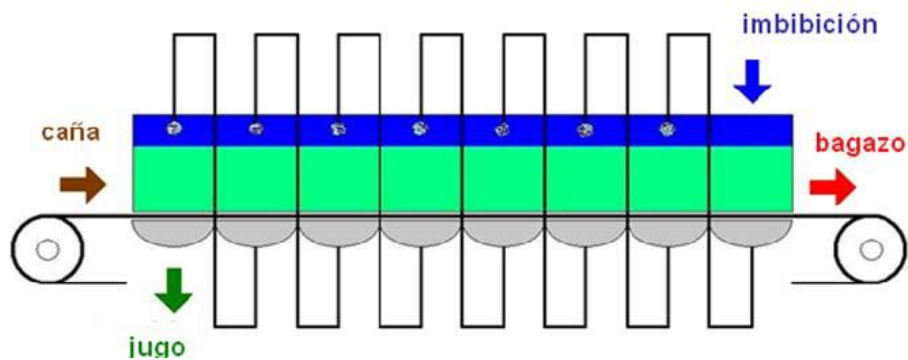
Lixiviación es un proceso de lavado de las fibras de la caña. En este proceso el jugo de la caña es retirado gracias a sucesivos lavados mecánicos. Este lavado sistemático es igual a la imbibición compuesta en un sistema de molienda. Las realizaciones de las lavadas son efectuadas con líquidos con un contenido de sacarosa inferior al presente en el jugo de la caña.

La difusión se lleva a cabo en las células que no son rotas por el sistema de reparación, en condiciones normales, las paredes de las células no son permeables al jugo que ellas contienen, debido a una película de proteína que recubre la pared interna. Con la diferencia de concentración presente en el jugo entre las células y el líquido de imbibición, se genera una presión de adentro hacia afuera, liberando el jugo, en este caso el difusor libera únicamente el jugo que está

en exceso debido a la saturación, cuando el bagazo llega al final del difusor, está saturado con jugos el cual debe ser retirado con un sistema de presión..<sup>49</sup>

La figura 30 presenta un esquema simplificado del funcionamiento del difusor; donde se muestra como el agua de imbibición es suministrada en la parte final del difusor, cerca de donde también está la salida del bagazo; consta de un calentador por contacto directo, en el que el vapor es controlado automáticamente lo cual permite mantener la adecuada temperatura del agua. La imbibición es posteriormente enviada y distribuida sobre el colchón de bagazo; el agua pasa a través de las fibras, circula por las chapas perforadas y es acumulada en el depósito de jugos; para facilitar el pasaje de la sacarosa de la solución rica para la pobre, la circulación de los jugos es hecha en contra-corriente con el bagazo, logrando así el mantenimiento de un diferencial de concentración entre las soluciones. De esta manera la concentración de jugos aumenta sucesivamente hasta alcanzar su máximo en el depósito situado junto a la entrada de la caña en el difusor, desde el cual se bombea para el proceso de tamización; De la misma forma el bagazo sigue en dirección a la parte final del difusor el cual tiene una concentración de sacarosa que disminuye de forma gradual.<sup>50</sup>

**Figura 30.**Esquema de funcionamiento del difusor de caña.



**Fuente:** BRAGHETO, Raúl. Aspectos de la extracción de sacarosa de caña-de-azúcar por difusión UNI-SYSTEMS, INC. Brasil.

---

<sup>49</sup> MOYA RODRÍGUEZ, Jorge L. Difusión vs molida. [En línea] Universidad Federal da Bahia, 2000. [Recuperado el 29 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/291166815>.

<sup>50</sup> BRAGHETO, Raúl. Aspectos de la extracción de sacarosa de caña-de-azúcar por difusión UNI-SYSTEMS, INC. Brasil.

Resultados prácticos apuntan que el %pol (contenido de sacarosa en el jugo), en el bagazo originario del difusor puede llegar a 0,7%, manteniéndose, en la mayoría de los casos, menor que 1,0%. Comparándose con situaciones prácticas de molienda existentes con %pol en el bagazo de 1,6 a 2,3%, ese resultado representa un substancial aumento en el rendimiento operacional de aproximadamente 4% por cada 1.000 toneladas de caña procesada por el difusor y en una eficiencia de fabricación de 90%.

Para entender mejor este proceso se puede visualizar la ventaja que tiene el difusor con relación a la extracción, comparando un molino que trabajando muy bien (que no es el caso en la mayoría de los ingenios) puede lograr un 70% de extracción, mientras que un difusor funcionando mal difícilmente baja de un 97% de extracción.<sup>51</sup>

Menores costos de inversión de 10-15% un ahorro en la inversión de capital es esperado con la instalación completa del difusor incluyendo los rolos desaguadores y el terno de molino de secado, comparado a un tándem de molino de la misma capacidad. Asimismo, el difusor requiere 40% menos de capacidad instalada para procesos de calentamiento y clarificación de jugo.

Los costos de mantenimiento medios para un difusor completo con los rolos desaguadores y terno de molino de secado espera ser de 35 a 40 % del costo medio requerido para un tándem de molino convencional de la misma capacidad.

Un panel de control central logra que el proceso sea controlado por un único operador por turno. La utilización de electrodos en los componentes de molino es reducida en 80%. Los gastos con lubricantes son reducidos en 25%.<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> MOYA RODRÍGUEZ, Jorge L. Difusión vs molienda. [En línea] Universidad Federal da Bahia, 2000. [Recuperado el 29 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/291166815>.

<sup>52</sup> BRAGHETO, Raúl. Aspectos de la extracción de sacarosa de caña-de-azúcar por difusión UNI-SYSTEMS, INC. Brasil.

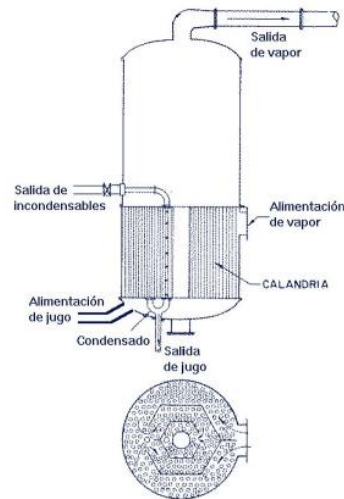
### 8.2.3. Tecnologías de transferencia de calor a los jugos extraídos de la caña de azúcar.

#### 8.2.3.1. Evaporadores

##### *Evaporador tipo Robert*

Este tipo de evaporador consta de un cuerpo cilíndrico vertical con tubos sujetos entre dos placas tubulares horizontales. Además, posee un gran tubo central de bajada que permite una buena circulación de la solución, lo cual es bastante ventajoso, mientras que su mayor desventaja es el espacio que ocupa. (Simón, 2001). Un esquema de este evaporador se puede apreciar en la figura 31.

**Figura 31** Evaporador tipo Robert



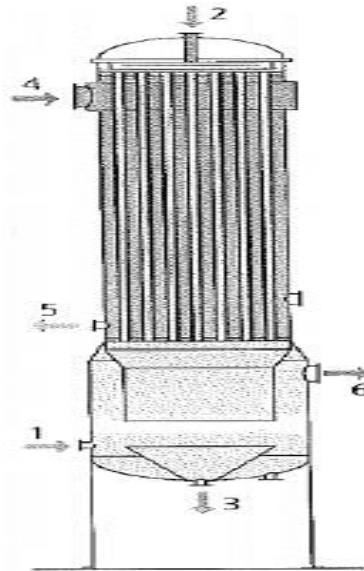
**Fuente:** Simón 2001

##### *Evaporador de película descendente*

Este tipo de evaporador funciona por medio del bombeo del líquido a concentrar, permitiendo que este recircule, desde un depósito ubicado en la parte inferior y con la entrada en la parte superior similar a los vahos que dejan el equipo mientras que el líquido concentrado lo hace por el base del mismo. De esta forma, se logra un evaporador en el que el material si puede fluir hacia abajo en forma de película descendente, a través de las paredes interiores de un haz de tubos calentados con vapor de agua. Una de sus grandes ventajas es que la película es delgada y rápida. El diseño del evaporador de película descendente se puede ver en la Figura 32 , la solución ingresa al distribuidor por parte superior (2) y el concentrado

sale por la parte inferior (3). Asimismo, el vapor de calentamiento entra por (4) y salen los condensados por 5. El vapor generado en este efecto sale por (6).

**Figura 32.** Evaporador de película descendente



**Fuente:** Rein 2007.

### ***Modelo de evaporación híbrido para la producción de panela.***

Mediante un estudio realizado por agrosavia para mejorar la producción de panela en Colombia se ideó un prototipo para aumentar la eficiencia del proceso de producción de panela, donde se convierte la energía del bagazo en energía térmica y se transfiere con la utilización de las pailas al jugo extraído de las fibras de la caña de azúcar en un molino, los procesos térmicos a realizar son la clarificación, evaporación y concentración, consiguiendo así miel, y posteriormente la panela.

La evaporación híbrida es un sistema que aprovecha los gases exhaustos que pasan por la chimenea de la hornilla, para producir vapor y retornarlo al proceso panelero, con el fin de incrementar su rendimiento y eficiencia térmica, y que se puede usar en cualquier escala de producción. Este modelo incrementa la utilización del potencial calorífico del combustible, mediante el aumento del área de intercambio de calor de los intercambiadores próximos a la chimenea y el uso del calor de los gases exhaustos.

En este modelo híbrido, se aumenta la eficiencia térmica global del sistema hasta un 51% y la productividad en un 30% con relación a las hornillas tradicionales; igualmente reduce el índice de bagazo / kg de panela y de las emisiones de kg CO<sub>2</sub> y CO / kg de panela. Los valores anteriormente mencionados dependen de los porcentajes de humedad en el bagazo.

Cuando se incrementa la velocidad de vaporación se mejora la calidad de la panela obtenida, este sistema se recomienda implementar en capacidades de producción hasta 200 kg de panela / hora lográndose una optimización del tamaño de la hornilla, el modelo es económicamente factible, con la presencia de ventajas como el menor uso de combustible gracias a la alta eficiencia lograda con el sistema híbrido, lo que implica menores costos de producción permitiendo que el proceso sea autosuficiente, y prescindiendo así del uso de combustibles adicionales, en la figura 33 se observa un prototipo de evaporación híbrido.<sup>53</sup>

**Figura 33.** Prototipo de evaporación híbrido.



**Fuente:** CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Modelo de evaporación híbrido para la generación de vapor y recirculación de energía para la producción de panela. [Consulta: 3 de agosto

---

<sup>53</sup> CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Modelo de evaporación híbrido para la generación de vapor y recirculación de energía para la producción de panela. [Consulta: 3 de agosto 2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/0365-modelo-de-evaporacion-hibrido-para-la-produccion-de-panela>

2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/0365-modelo-de-evaporacion-hibrido-para-la-produccion-de-panela>

### ***Evaporador Ecológico***

El Evaporador Ecológico consta de una cámara de combustión con rejillas, un conjunto de bandejas evaporadoras y una chimenea. El par de bandejas consta de una bandeja frontal con canales de 15,2 cm x 5,1 cm (6 pulgadas x 2 pulgadas) y una bandeja trasera plana. La bandeja frontal acanalada, conocida como bandeja de humos, aumenta el área de la superficie de la bandeja, aumentando el área de la superficie calentada. La bandeja de humos está directamente sobre el fuego, mientras que la temperatura más baja debajo de la bandeja trasera plana permite que el jarabe más denso se evapore sin quemarse. El jugo ingresa a la bandeja de humos frontal mediante un balde o tubería desde el *trapiche*, y se mueve a la bandeja trasera mediante paletas de metal, plástico o calabazas.

El horno consta de una cámara de combustión con rejillas y un cenicero. Las rejillas de acero son caras y los productores de la región de Lempira rara vez las utilizan. El evaporador ecológico utiliza ladrillos de fabricación local o piedra moldeada para las rejillas. Las chimeneas están construidas con adobe y ladrillo.

Las diferencias entre el evaporador ecológico y los evaporadores tradicionales incluyen conductos de humos y cacerolas de acabado totalmente de acero, el uso de un fuego elevado en las rejillas y una chimenea vertical más alta.<sup>54</sup>

### ***Evaporador de múltiple efecto***

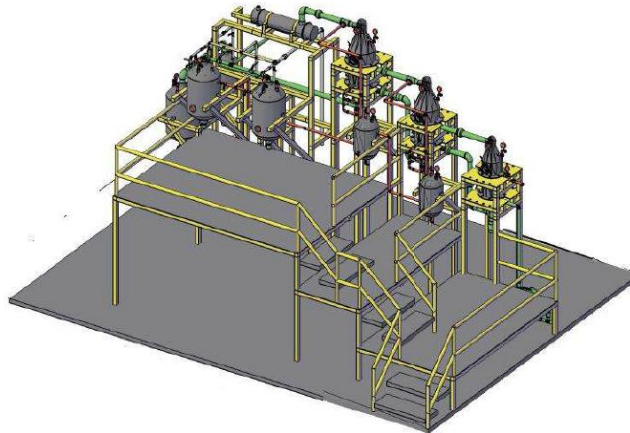
El evaporador de múltiple efecto que se puede observar como prototipo en la figura 34, tiene como objetivo efectuar el cambio del sistema tradicional de evaporación abierta, por una evaporación cerrada, principalmente de múltiple efecto, el cual actualizaría el sector proporcionando un carácter semi-continuo a la producción de panela. Una de las ventajas de este sistema es que se aprovecha el vapor creado en las pailas reduciendo las pérdidas de calor al ambiente, ya que este calor

---

<sup>54</sup> Daniel Baker (2017) Ecological panela production in Honduras: A lighter footprint for non-centrifugal sugar, *Cogent Food & Agriculture*, 3:1, 1372

constituye una porción de energía significativa que ayudaría con la rentabilidad de la producción de panela y en la calidad de esta.

**Figura 34.** Diseño del prototipo experimental de múltiple efecto.



**Fuente:** GARCÍA BERNAL, Hugo Reinel, *et al.* Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de Panela. Colombia.: p.6.

Una de las causas del desaprovechamiento energético y la disminución eficiencia energética en la producción de la panela se puede relacionar con la evaporación ya que esta se efectúa de forma abierta, perdiendo el calor latente del vapor que emerge de las pailas, siendo una porción de calor significativa, en este proceso se evaporan cerca de 79kg de agua por cada 100kg de jugo. La cantidad de vapor de agua que se trasfiere a la atmósfera en forma de calor es de aproximadamente 179.330kJ/100 kg de jugo.<sup>55</sup>

Solís et al. evaluaron un evaporador de doble efecto a presión de vacío. Hubo una mejora en los tiempos de procesamiento y una optimización y ahorro de recursos energéticos, ya que se utiliza el vapor generado por el líquido en un sistema cerrado. Sin embargo, los costos adicionales en inversión tecnológica, mantenimiento de

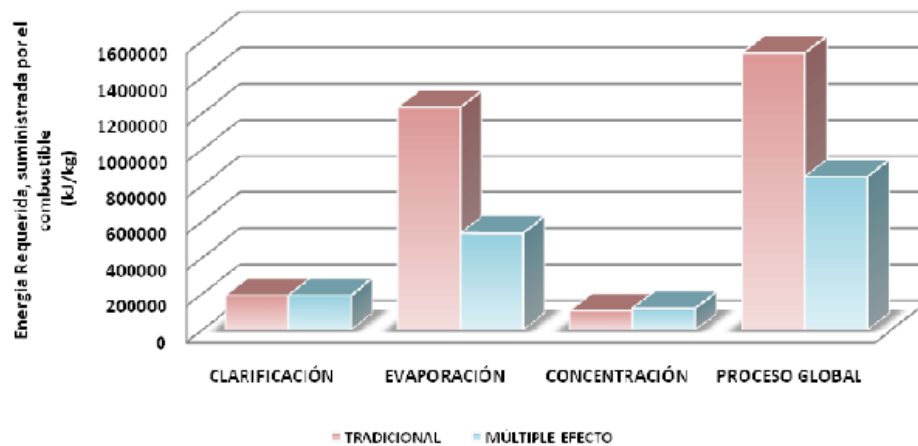
---

<sup>55</sup> [Velásquez, 2002; Velásquez et al., 2004].

equipos y suministro de electricidad limitan el acceso de los productores tradicionales a estas técnicas avanzadas.<sup>56</sup>

En la figura 35 se muestra la energía entregada por el combustible en cada etapa de producción de la panela y de forma global. Cuando se realiza una comparación del sistema tradicional frente al sistema de múltiple efecto se concluye que, en el sistema de múltiple efecto se necesita el 44% de la energía en el ciclo de evaporación y del 55% de la energía en el proceso global, mostrando así que el sistema de múltiple efecto logra ser más eficiente y requiere menos energía.<sup>57</sup>

**Figura 35.** Energía suministrada al proceso productivo de la panela.



**Fuente:** GARCÍA BERNAL, Hugo Reinel, *et al.* Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de Panela. Colombia.: p.11.

Mediante una simulación de diferentes configuraciones de evaporadores, cada una con distinto número de efectos y temperaturas de vapor de entrada, analizadas bajo un modelo matemático determinado con presiones iguales de trabajo de 10.25bar, puede decirse que aumentar de 2 a 3 efectos es provechoso

---

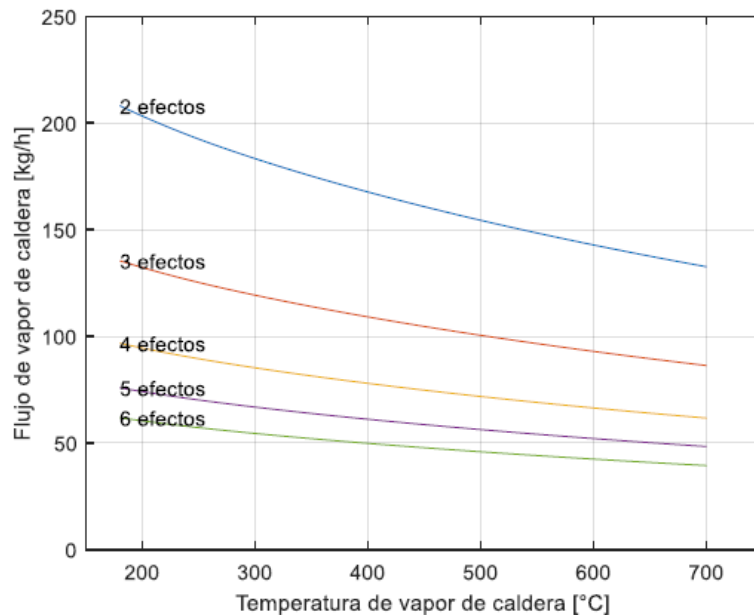
<sup>56</sup> Solís JR, Pérez F, Orozco I, Flores JL, Ramírez E, Hernández A, et al. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. Revista digital científica y tecnológica. 2006; 4 (1): 1-8.

<sup>57</sup> Duran S., E. 2010. Determinación de la eficiencia energética de un sistema de evaporación de múltiple efecto empleado en la concentración de jugos de caña panelera. Fundación Universidad de América – CORPOICA.

y justificable, presentando un ahorro energético (flujo de vapor) sería mayor a un 36%, mientras que, entre 3 y 4 efectos, la reducción de energía llega a ser menor al 28%, por lo que no es justificable comparado con el gasto de agregar un cuarto efecto y el mantenimiento posterior; se presenta una situación similar para el caso de 4 y 5 y finalmente entre 5 y 6, llegando a ahorros de por debajo del 18% aproximadamente.

El impacto que crea el número de efectos en el flujo de vapor que necesita el proceso es bueno como se observa en la figura 36, debido a que cuando aumenta el número de efectos o etapas de evaporación menor es el requerimiento energético. De igual manera ocurre cuando se aumenta la temperatura de vapor en la caldera, sin embargo, la caída del requerimiento es menos significativa. Asimismo, se logra observar un paralelismo de las curvas, lo cual se explica como un impacto similar de la temperatura en el requerimiento para cada disposición de número de efectos.<sup>58</sup>

**Figura 36.** Flujo de vapor requerido en cada efecto.



<sup>58</sup> PINEDA SANCHEZ, Angel Marino. Diseño y análisis termodinámico de un sistema de evaporación de triple efecto para el proceso de producción de panela Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2018.pag 59.

**Fuente:** PINEDA SANCHEZ, Ángel Marino. Diseño y análisis termodinámico de un sistema de evaporación de triple efecto para el proceso de producción de panela Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2018.pag 59.

Con la anterior información se puede establecer que la configuración de 3 efectos es la que mejor convendría en cuanto al ahorro energético que se alcanzará al reducir el requerimiento de flujo de vapor sobrecalentado, en la figura 37 se puede observar un evaporador de dicha configuración.

**Figura 37.** Evaporador de triple efecto Cimpa para la producción de panela.



**Fuente:** PINEDA SANCHEZ, Ángel Marino. Diseño y análisis termodinámico de un sistema de evaporación de triple efecto para el proceso de producción de panela Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2018.pag 76.

### ***Sistemas móviles de vapor***

Estos sistemas móviles de la figura 38 tienen todo lo necesario para la elaboración de panela y mieles paneleras, con los trapiches y el sistema de vapor construidos sobre sistemas de llantas. Consiguen ser usados para procesar la caña de un número plural de pequeños paneleros.

Cuando se producen mieles, éstas pueden transportarse a una planta central, que hace las etapas finales de producción y selección de las condiciones óptimas: una planta de punteo por vapor. Mediante el uso de estas puede llevarse tecnología y

mercados óptimos a pequeños fabricantes con parcelas de unas pocas hectáreas.<sup>59</sup>

**Figura 38.** Sistema a vapor móvil de 150kl/h de Cidecolombia.



**Fuente:** DEVIS Enrique, Dynaterm Ltda.; Estudio de Mercado Panela Pura Ltda 2004 y 2005.; Fedepanela.

### ***Plantas de punteo por vapor***

Para fabricantes de pequeños o de pocos recursos, al asociarse varios de ellos, una buena elección es adquirir un sistema y colocarlo en una planta central; este sistema fundamentalmente realiza los procesos de concentración y punteo, una de las fases más importantes; y de igual forma sus pequeñas plantas pueden realizar las etapas anteriores a este proceso. Cuando hay productores vecinos es una excelente elección para mejorar la calidad de su producto, sin tener que contar con todos los recursos para invertir en un sistema de evaporación mantenido por vapor; de esta forma una de las ventajas es que la inversión es conjunta y de gran mejora de calidad del producto terminado <sup>60</sup>

El vapor es suministrado de la misma forma por una caldera que funciona por la combustión del bagazo, pero con menos capacidad. Asimismo, la planta central

---

<sup>59</sup> DEVIS Enrique, Dynaterm Ltda.; Estudio de Mercado Panela Pura Ltda 2004 y 2005.; Fedepanela.

<sup>60</sup> PINEDA SANCHEZ, Angel Marino. Diseño y análisis termodinámico de un sistema de evaporación de triple efecto para el proceso de producción de panela Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2018.pag 6

debe tener una condiciones óptimas de limpieza y tecnología, que dan como resultado un producto de buenas especificaciones .<sup>61</sup>

### 8.2.3.2. Hornillas paneleras

La asociación existente para el desarrollo internacional entre Colombia y Holanda CIMPA mejoró el diseño de las calderas de limpieza y concentración de jugos de caña y afirmó que el bagazo formado en la molienda puede integrarse al proceso de combustión con porcentajes de humedad altos. Con esta innovación que recibió el nombre de cámara Ward la cual consta de un conjunto de calderas que disminuyen de nivel a medida que se va purificando el jugo y una chimenea con una altura determinada. La cámara creada por el CIMPA fue optimizada con unas diferencias en la entrada de la cámara de combustión y en la chimenea; la hornilla con cámara Ward-CIMPA, puede alcanzar una temperatura de combustión de 1200 grados centígrados y con pocos niveles de contaminación en el medio ambiente debido al uso totalmente de bagazo y liberar solamente un 1% de monóxido de carbono, como ese muestra en la tabla 4.<sup>62</sup>

**Tabla 4.** Cámaras de combustión utilizados en Colombia.

Cámara	T de combustión °C	% CO liberado
Tradicional	650-850	6-10
Tradicional mejorada	850-950	4-5
Tipo Ward- CIMPA	1200	1

**Fuente:** GUERRERO USEDA, María Eugenia; ESCOBAR GUZMAN, Juan Diego. Eficiencia técnica de la producción de panela. Bogotá, 2015.

---

<sup>61</sup> Ibid,pag 18.

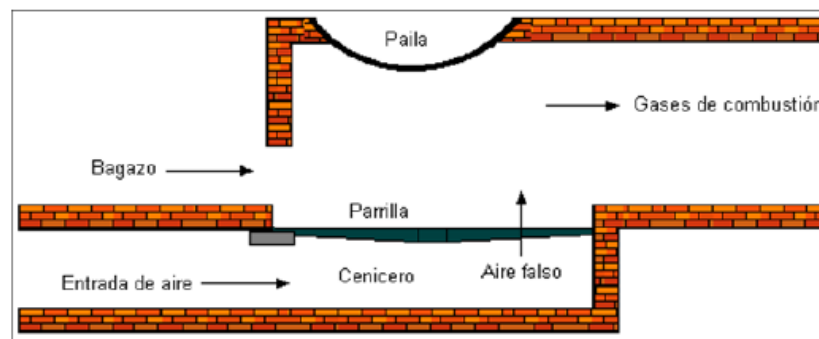
<sup>62</sup> GUERRERO USEDA, María Eugenia; ESCOBAR GUZMAN, Juan Diego. Eficiencia técnica de la producción de panela. Bogotá, 2015. p.112.

La eficiencia térmica del horno sin modificaciones está entre el 15 - 30%, mientras que el horno CIM-PA tiene indicadores entre el 35 - 45%. Las pérdidas de energía por chimenea constituyen el 70-90% y las pérdidas de pared son el 7%.<sup>63</sup>

### ***Hornilla tradicional***

El horno usado en la elaboración de la panela, habitualmente llamado hornilla panelera figura 39 de la hornilla tradicional, es un subsistema, dispositivo o equipo del trapiche, donde se retiran la mayor parte de las impurezas y se evapora el agua de los jugos de la caña para concentrar los sólidos solubles, principalmente azúcares, hasta el “punto de panela”. La hornilla tradicional, posee la capacidad de producir de 40 a 150 kg de panela / hora, como combustible usan llantas, leña y bagazo seco.<sup>64</sup>

**Figura 39.** Hornilla tradicional



**Fuente:** CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Hornillas paneleras eco eficientes tipo Cimpa. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/0132-diseño-y-construcción-de-un-modelo-regional-demostrativo-de-hornilla-panelera-para-tolima>

---

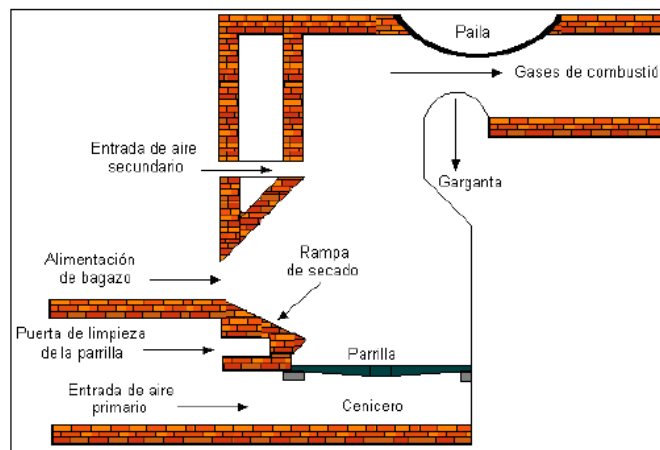
<sup>63</sup> Velásquez HI, Chejne F, Agudelo AF. Diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín. 2004; 57 (2): 1-15.

<sup>64</sup> Bernal, Hugo & Cortés, Giovanni. (2010). Hornillas para la producción de panela.

## Hornilla Cimpa

La hornilla panelera tipo Cimpa de alta eficiencia térmica y bajo impacto ambiental, diseño que se puede observar en la figura 40, es la construcción de la unidad productora de panela (trapiche), en la cual se transforma la energía del bagazo en energía calórica y se traslada a través de las pailas al jugo extraído de las fibras de caña de azúcar en el molino y la cachaza producida en la clarificación para convertirlos en miel, panela y melote respectivamente.<sup>65</sup>

**Figura 40.** Hornilla CIMPA



**Fuente:** CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Hornillas paneleras eco eficientes tipo Cimpa. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0132-dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-un-modelo-regional-demostrativo-de-hornilla-panelera-para-tolima>

Los aspectos que permiten reducir pérdidas de calor, aumentar la eficiencia térmica y mejorar la calidad de la panela, en la hornilla Cimpa se:

- Utiliza ladrillo refractario para la construcción de la cámara de combustión y parte del ducto.

---

<sup>65</sup> CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Hornillas paneleras eco eficientes tipo Cimpa. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0132-dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-un-modelo-regional-demostrativo-de-hornilla-panelera-para-tolima>

- El diseño del ducto es acorde a la distribución térmica de los gases de combustión y la geometría de las pailas.
- Controla y regula la caída de presión y velocidad de los gases debido la altura de la chimenea y la acción de una válvula mariposa.
- La construcción de los intercambiadores de calor es en acero inoxidable y se sitúan en el ducto de la hornilla permitiendo la combinación más eficiente de acuerdo al fenómeno de transferencia de calor predominante (radiación o conducción) y la operación que realiza (clarificación, evaporación o concentración).

La hornilla Cimpa está dispuesta para para capacidades de producción de los 75 hasta 225 kg de panela por hora y para funcionar con bagazo verde o seco, dependiendo del tipo de cámara de combustión dentro de las que se encuentran:

Plana-Cimpa, con una o dos cámaras, siendo la de dos cámaras conocida como tipo Cundinamarca. Operan especialmente con bagazo obtenido de molindas y con un contenido de humedad menor al 30%.

Ward-Cimpa, con una geometría de cámara de combustión que permite quemar bagazo verde (obtenido de un molino ajustado a una extracción > 60%); En esta cámara, sin embargo se necesita una mayor inversión, pero ofreciendo al productor flexibilidad para realizar las molindas, sin esperar que el bagazo este totalmente seco.<sup>66</sup>

Las investigaciones realizadas por el CIMPA han aportado avances y modificaciones en la estructura del horno, que ofrece la ventaja de incrementar los rendimientos energéticos y mitigar la transferencia de calor en la sartén donde se le da el punto final panela.

El uso del horno es el sistema más simple de producir panela. En procesos operados bajo criterios industriales, la cámara de combustión es reemplazada por una caldera que genera vapor. Este fluido se utiliza como fuente de energía en los

---

<sup>66</sup> CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Hornillas paneleras eco eficientes tipo Cimpa. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0132-dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-un-modelo-regional-demostrativo-de-hornilla-panelera-para-tolima>

intercambiadores de calor. Esta innovación generalmente conduce a un aumento en la escala de producción, permitiendo también la reducción de costos asociados, favoreciendo la sustitución del modelo de producción tradicional y campesino por uno más tecnificado y emprendedor.<sup>67</sup>

#### **8.2.3.3. Metodología para la evaluación energética y ambiental de hornillas paneleras**

Esta OT (oferta tecnológica) es una herramienta que permite recopilar datos y calcular la eficiencia energética y ambiental. A partir del análisis de esta información es posible tomar decisiones para el mejoramiento de las hornillas productoras de panela.

Con la OT se pueden obtener indicadores asociados a los siguientes factores: emisión de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y CO) y cantidad de bagazo en base seca por kilogramo de panela procesada (kg de CO/kg de panela, kg de CO<sub>2</sub>/kg de panela, kg de bagazo seco/kg de panela), eficiencia global de la hornilla (%), cantidad de energía utilizada por kilogramo de panela (kWh/kg de panela) y producción de panela (kg de panela/ha), entre otros.

Para su implementación se debe tener en cuenta el acceso a los materiales y equipos requeridos en la evaluación, como sensores de temperatura (hasta 1200 °C), medidor de concentración de sólidos solubles totales (grados Brix), medidor de gases para CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y una balanza.<sup>68</sup>

#### **8.2.3.4. Intercambiadores de calor cerrados**

En estos sistemas de calderas en la figura 41, se queman restos agroindustriales para generar vapor el cual circula por tubos transfiriendo calor a los juegos de la caña de azúcar. El área que está en contacto con los jugos debe ser grande para que el calor se pueda transferir uniformemente, impidiendo la formación de sólidos

---

<sup>67</sup> González KL. Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos en hornillas paneleras WARD - CIMPA en la Hoya del Río Suárez [Disertación]. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander; 2010.

<sup>68</sup> Deantonio-Flórida, L. Y., Ospina-Parra, C. E., Varón Ramírez, V. M., & López-González, X. (2020). Tecnologías para el sector panelero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (agrosavia).

carbonizados. La temperatura consigue ser regulada, efectuando mejor las etapas de clarificación y evaporación del jugo. Los procesos con la utilización de vapor son mucho más rápidos comparado con otros existentes. Con la disminución del tiempo se reduce la formación de azúcares reductores. Todos estos elementos permiten restar la pérdida de pureza; con resultados de una panela de calidad que en pocos procesos se puede obtener.<sup>69</sup>

**Figura 41.** Caldera bagacera



**Fuente:** MANRIQUE SILUPU, José. Evaluación tecnológica y económica de sistemas de producción de panela con tecnología a vapor. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2010, pág. 20

#### **8.2.3.5. Caldera**

Este mecanismo es el generador de vapor gracias a la combustión de bagazo, cuyo calor estará siendo utilizado para calentar y producir vapor de agua, este calor será enviado a las diferentes etapas que necesiten aumentar la temperatura de los jugos de caña.

#### ***Caldera piro tubular***

---

<sup>69</sup> MANRIQUE SILUPU, José. Evaluación tecnológica y económica de sistemas de producción de panela con tecnología a vapor. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2010, pag 20

Esta configuración de caldera, permite que los gases de combustión transiten por el interior de los tubos, y de esta manera el fluido (agua) por la parte exterior de los mismos. Son utilizadas generalmente en aplicaciones pequeñas, debido a que su generación fluctúa entre 0.2 y 25 t/h (caldera de 1 hogar) y entre 25 y 60 t/h (caldera de 2 hogares). Al mismo tiempo, su presión de trabajo final es de 25 bar y entre sus ventajas se encuentra el ser sistemas compactos y económicos, Esta configuración de caldera es el usado en la Central de mieles del Nordeste en Colombia, logrando generar vapor saturado y trabajar a 90 psi y 110°C .

En la Figura 42 se muestran una caldera pirotubular de 1 hogar (izquierda) y una de 2 hogares (derecha).

**Figura 42** Caldera pirotubular.



**Fuente:** (Viessmann, 2013)

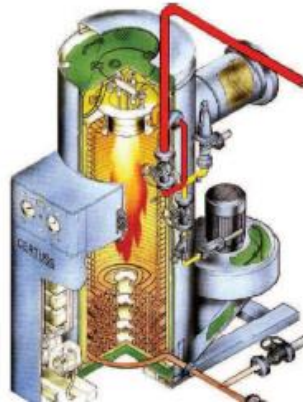
### ***Caldera acuotubular***

Son las calderas en las que el fluido (agua) se desplaza por el interior de los tubos durante el calentamiento, mientras que los gases de combustión circulan por el exterior de los mismos. Su producción de vapor se encuentra entre 1 y 200 t/h. Y su presión de trabajo es superior a los 25 bar.

Esta configuración de caldera es utilizada en el Proyecto Asopam para la elaboración de panela de 150 kg/h, en Moreta Risaralda, Colombia. Trabaja con 60 HP y produce 2070 lb de vapor por hora (940 kg de vapor por hora) (Cidecolombia, PROYECTO ASOPAM, 2013). Otra aplicación de esta caldera se encuentra en una finca panelera a vapor en el valle de San José de Colombia, sin embargo, en esta planta se tiene un compresor para conseguir una temperatura y

presión apropiadas.<sup>70</sup>El problema con este tipo de caldera figura 43, es el alto costo de adquisición e instalación.

**Figura 43** Caldera acuotubular.



**Fuente:** (Viessmann, 2013)

### ***Caldera acuopiro-tubular***

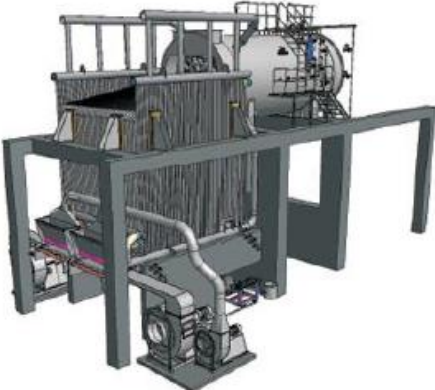
Caldera combinada con hogar acuotubular y cuerpo recuperador piro-tubular de 2 pasos. Con capacidad de cerca de 50 a 2200 BHP<sup>1</sup>, dicho de otro modo, de 490 a 21581 kW, o sea hasta 35 toneladas de vapor por hora a una presión de trabajo de 10 a 400 psi, o 69 a 2758 kPa. (Calderas JCT). Su representación se aprecia en la Figura 44, esta caldera es la que se usa en la región de Cundinamarca de Colombia, puntualmente en Tobia, donde el Sena posee una planta de producción de panela con vapor. Esta caldera funciona a 125 psi, generando 3000 kg de vapor por hora.<sup>71</sup>

---

<sup>70</sup> PINEDA SANCHEZ, Angel Marino. Diseño y análisis termodinámico de un sistema de evaporación de triple efecto para el proceso de producción de panela Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2018.pag 6

<sup>71</sup> Ibid,pag 8.

**Figura 44** Caldera acuopitubular



**Fuente:** (Calderas JCT)

### 8.3. MATRIZ DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA.

Mediante el análisis de la información recopilada se procede a realizar un diagnóstico el cual tiene como finalidad comparar las diferentes tecnologías utilizadas y en proceso de estudio en la actualidad, para esto se plantearon diferentes metodologías de evaluación tecnológica como TRIZ, de la cual se utilizó el planteamiento de un método que nace de la observación de la información y tecnologías definidas, para establecer una relación entre el conflicto determinado y una propuesta de resolución, implicando así el estudio de los rasgos y características que distinguen el proceso de producción de la panela en el departamento de Santander; permitiendo plantear criterios de selección como usabilidad, funcionabilidad y recursos.

Con la utilización de la metodología QFD se plantearon las demandas y expectativas de los clientes las cuales fueron traducidas en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias que lograron una visión objetiva de qué es lo que buscan los usuarios en un producto tecnológico y de los requisitos que debe tener. El planteamiento de la situación de cómo se encuentra el proceso actual frente a la opción evaluada permitió construir una matriz en la cual los diferentes criterios de selección fueron evaluados con niveles de valoración (I, II y III) siendo (III) la más alta valoración del criterio, el porcentaje de viabilidad para la implementación de las tecnologías de mejoramiento del proceso de producción de panela en el departamento de Santander se determinó con la ecuación 1. Cada criterio está acompañado de una breve descripción, luego de obtener la calificación de los diferentes criterios de la tecnología se realizó un análisis de la evaluación en la cual se muestra una visión general de cómo es el panorama de aplicabilidad de la tecnología como propuesta para el departamento de Santander.

Ecuación 1. Ecuación de porcentaje de viabilidad tecnológica para la implementación en el departamento de Santander.

$$\% \text{ de viabilidad} = \frac{\sum \text{Valoración de criterios}}{\text{Número de criterios evaluados}} \times \left(\frac{100}{3}\right)$$

A continuación, se definen cada uno de los criterios y los niveles de valoración que se mencionan en la tabla 5, los cuales se tuvieron en cuenta para la elaboración de la matriz de diagnóstico.

**Calidad:** Describe la capacidad que tiene un objeto para satisfacer necesidades implícitas o explícitas de acuerdo a un parámetro, o un cumplimiento de exigencias de calidad.<sup>72</sup>

**Capacidad:** La capacidad de una máquina o proceso, se logra explicar como su aptitud para producir artículos dependiendo con sus especificaciones. Igualmente se puede explicar como la aptitud del proceso o de una máquina, para efectuar los límites de tolerancia.<sup>73</sup>

**Eficiencia:** La noción de eficiencia tiene su comienzo en el término latino *efficientia* y describe a la habilidad de contar con algo o alguien para conseguir un resultado. El concepto también puede ser relacionado con la capacidad de cumplir una función.<sup>74</sup>

**Funcionalidad:** este calificativo se utiliza para hacer referencia a aquello cuyo diseño tiene como objetivo brindar facilidad, comodidad y utilidad en su empleo.<sup>75</sup>

**Impacto ambiental :**Es la variación del medio ambiente, producida directa o indirectamente por un proyecto o actividad en una área determinada, en otras palabras el impacto ambiental es la alteración del ambiente causada por la acción del hombre o de la naturaleza.<sup>76</sup>

---

<sup>72</sup> "Calidad". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/calidad/>  
Consultado: 12 de agosto de 2021.

<sup>73</sup>SOLÉ CABANES, Antonio. "Capacidad". Citado: 12 de agosto de 2021. Disponible en: <https://asolengin.files.wordpress.com/2014/04/estudios-de-capacidad-de-procesos.pdf>

<sup>74</sup> "Eficiencia". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/eficiencia/>  
Consultado: 12 de agosto de 2021.

<sup>75</sup> Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2009. Definiciones: definición de funcional <https://definicion.de/funcional/> Consultado: 12 de agosto de 2021.

<sup>76</sup>Consultores ambientales en Chile. Citado: 12 de agosto de 2021. Disponible en: <https://www.grn.cl/impacto-ambiental.html>

**Insumo:** El insumo es toda cosa apta de dar servicio y suplir necesidades del ser humano, es decir, nos referimos a todas las materias primas que son empleadas para generar nuevos elementos.<sup>77</sup>

**Usabilidad:** Se puede definir la usabilidad como la medida en la cual un producto puede ser usado o utilizado por personas específicas para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un proceso específico.<sup>78</sup>

**Rendimiento:** El rendimiento puede ser definido como la proporción que existe entre los medios utilizados para obtener algo y el resultado que se obtiene. El beneficio o el provecho que ofrece algo o alguien también se conoce como rendimiento.<sup>79</sup>

### **Niveles de valoración**

**Mala:** No cumple con el criterio calificado, debido a que no es de fácil adquisición, implementación y las inversiones no justifican los rendimientos, las mejoras que se logran no son significativas con respecto a como se está llevando a cabo el proceso en la actualidad.

**Regular:** Su implementación puede generar beneficios al proceso productivo de la panela, pero su adaptación requiere una inversión que no compensa los resultados y mejoras a obtener.

**Buena:** Su implementación da cumplimiento al criterio evaluado y la inversión que debe realizarse para su adaptación compensa en cuanto a los resultados y mejoras que se obtiene en el proceso productivo.

**Baja/o:** No cumple con el criterio calificado, debido a que no es de fácil adquisición, implementación y las inversiones no justifican los rendimientos, las mejoras que

---

<sup>77</sup> PEDROSA, Steven Jorge." Insumo". Economipedia.com. 2017. Citado 12 de agosto de 2021. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/insumo.html>

<sup>78</sup> "Usabilidad". En: Sidar. Disponible en: <http://www.sidar.org/recur/desdi/traduc/es/visitable/quees/usab.htm> Consultado: 12 de agosto de 2021.

<sup>79</sup> Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2008. Actualizado: 2012. Definiciones: Definición de rendimiento <https://definicion.de/rendimiento/> Consultado: 12 de agosto de 2021.

se logran no son significativas con respecto a cómo se está llevando a cabo el proceso en la actualidad.

**Media/o:** Su implementación puede generar beneficios al proceso productivo de la panela, pero su adaptación requiere una inversión que no compensa los resultados y mejoras a obtener.

**Alta/o:** Su implementación da cumplimiento al criterio evaluado y la inversión que debe realizarse para su adaptación compensa en cuanto a los resultados y mejoras que se obtiene en el proceso productivo.

**Tabla 5.** Criterios y niveles de valoración

CRITERIO	NIVELES DE VALORACIÓN		
	I	II	III
USABILIDAD	MALA	REGULAR	BUENA
FUNCIONALIDAD	MALA	REGULAR	BUENA
CALIDAD	MALA	REGULAR	BUENA
CAPACIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
EFICIENCIA	BAJA	MEDIA	ALTA
RENDIMIENTO	BAJO	MEDIO	ALTO
IMPACTO AMBIENTAL	ALTO	MEDIO	BAJO
DEMANDA DE INSUMOS	ALTA	MEDIA	BAJA

**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Tabla 6.** Matriz cosecha manual.

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
RECOLECCION	Cosecha Manual	Funcionalidad	Obreros con altas habilidades, mediante la utilización de un machete (macheta modificada de hoja más corta y más ancha, que rompe la resistencia del tallo en un corte neto sin desgarre).	II	En promedio la viabilidad de la cosecha manual en Santander es de 55,55%. La mayor desventaja de la cosecha manual es el impacto del error humano y la variabilidad que hay entre los cosecheros, es por esto que en la región de Santander se debe optar por la capacitación del obrero en dicha práctica y así lograr un mejor rendimiento y cosecha manual de calidad. Una mano de obra calificada y capacitada aumentará el rendimiento por operario lo cual será reflejado en costos y cantidad de jornales de trabajo contratados.
		Insumos	La operación de transporte se realiza por medio de carretas tiradas por animales, tractores con remolques o en camiones.	II	
		Rendimiento	Rendimiento promedio de 3 t/día por operario.	I	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 7.** Matriz cosecha mecanizada

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
RECOLECCION	Cosecha mecanizada	Funcionalidad	Manejo de la máquina cosechadora por parte de un operario calificado.	II	En promedio la viabilidad de implementar la cosecha mecanizada es de 66,66%. Entre sus desventajas se presenta un mayor contenido de materia extraña llevada al trapiche y una mayor cantidad de pérdidas de materia prima, con relación a la cosecha manual. De igual manera permite la cosecha en verde con lo cual se produce un volumen considerable de residuos que pueden ser utilizados como rehabilitación de suelos o para la nutrición animal, debido a que los terrenos de siembra de caña de azúcar en la región de Santander son en su mayoría montañosos no es viable la implementación tecnológica.
		Usabilidad	La nivelación del campo, está diseñada para trabajar en distancias entre 1.60 y 1.80 m entre surcos si las distancias no se mantienen se presentan pérdidas de caña por aplastamiento. Surcos de superficie plana y localizados entre 8 y 15 cm sobre el entresurco.	I	
		Eficiencia	Alta eficiencia debido a parámetros como consumo de combustible por tonelada de caña cosechada y horas de trabajo en cosecha .	III	

		Rendimiento	Rendimiento entre 20 y 30 toneladas por hora	III	
--	--	-------------	--	-----	--

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 8.** Matriz transporte de caña con animales.

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
RECOLECCION	Transporte de caña con animales	Rendimiento	La utilización de animales en la recolección de la caña del lugar de corte al trapiche ,hace que los tiempos de apronte aumenten considerablemente .	II	En promedio la viabilidad de continuar con el uso de animales para el transporte de caña es de 58,3%. Esta operación debe ser como máximo de tres días, para evitar la destrucción del tallo y la acumulación de inversión de sacarosa, lo que pasa en muchas ocasiones en la región por la falta de animales (mulas) disponibles para el transporte de toda la cosecha, la necesidad de una persona que guíe el animal durante el recorrido incrementa los costos de esta modalidad de transporte .
		Insumos	Para el apronte de la cosecha se debe planificar el número de animales que se deben comprar o alquilar ,así como los alimentos para estos.	I	
		Usabilidad	Las diferentes irregularidades en los terrenos de recolección así como el invierno hacen complejo el movimiento de dichos animales con grandes cargas .	III	

		Capacidad	Para cada animal de carga empleado (mula) se estima un valor de 150 kilos para cada recorrido	I	
--	--	-----------	---	---	--

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 9.** Transporte de caña por cable autopropulsado

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
RECOLECCION	Transporte de caña por cable autopropulsado	Rendimiento	Permite una reducción de tiempo ya que el proceso se puede generar de forma continua.	III	En promedio la viabilidad de utilizar el transporte de caña por cable autopropulsado es de 91,66%.
		Insumos	un sistema motriz (motor, reductor y freno), una línea de cable (mono cable, portante – tractor) entre las estaciones de reenvío en los extremos de la línea, unas torres intermedias que soportan el cable con movimiento continuo.	II	Este sistema combinado con muy pocas mulas, permite una reducción del tiempo, los costos de transporte de la caña y el uso de animales para la labor, son condiciones que, reducen la compactación de los suelos y la incidencia del maltrato de los animales. El consumo de energía, requerido para la operación del sistema autopropulsado es relativamente bajo en términos
		Usabilidad	Permite el transporte de caña por zonas de altas pendientes	III	

			topográficas ,sin que el clima sea un factor determinante.		de cantidad y costo, alrededor de 15 kW/hora Con respecto con al sistema de transporte tradicional con animales, se reducen hasta un 18 % los costos de transporte y en un 30 % la mano de obra ,lo que hace de esta una opción tecnológica viable de instalación en la región de Santander.
		Capacidad	Capacidad de transportar paquetes de aproximadamente 50 kg, lo que representa cerca de 20 toneladas al día independiente de la longitud del cable.	III	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 10.** Matriz molinos tradicionales de tres rodillos horizontales

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
EXTRACCIÓN DE JUGOS	Molinos tradicionales de tres rodillos horizontales	Capacidad	Moliendas que varían entre 0,5 y 3 toneladas de caña molida por hora.	II	En promedio la viabilidad de continuar con molinos tradicionales es de 53,33%.  Mediante el estudio de esta tecnología de molinos se puede evidenciar la baja
		Eficiencia	Obtienen alrededor del 45% al 55% del jugo disponible en la caña.	I	

		Calidad	La contaminación del jugo de caña con aceites y lubricantes es persistente en esta configuración. También puede haber contacto con piezas en estado de oxidación.	I	capacidad de extracción que poseen lo que implica una mayor utilización de materias primas sumado a la contaminación de los jugos por estar en contacto con los diferentes sistemas de lubricación, esto hace que sea necesario una mejora tecnológica en los diferentes molinos del departamento de Santander.
		Mantenimiento	El jugo de caña de azúcar produce corrosión lo que disminuye la vida útil y eficiencia de las piezas. Por tal razón el mantenimiento debe ser frecuente.	II	
		Insumos	Energía eléctrica (kW/h) durante las cuales se utiliza un motor eléctrico o combustible diésel cuando se presentan fallas eléctricas.	II	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 11.** Matriz Tándem de molinos

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
EXTRACCION DE JUGOS	Tándem de molinos	Funcionalidad	Consta de entre 4 a 8 unidades de molienda ,con el sistema motriz elegido (motor eléctrico, Diésel ,turbinas de vapor).	II	En promedio la viabilidad de implementar tándem de molinos es de 66,66. %  En Colombia, el tándem de molinos por sus costos no ha tenido aceptación para el proceso de producción de la panela, aunque en este permanecen problemas concernientes con el desgaste y la falla de los materiales en los ejes de los molinos producido con el rozamiento entre piezas y a la presión hidráulica, es una buena tecnología al momento de buscar un mayor porcentaje de extracción de jugos.
		Capacidad	De acuerdo al número de molinos ubicados en tándem se pueden lograr moliendas que varían entre 1,5 a 3 toneladas por hora.	III	
		Eficiencia	El paso de la caña de azúcar por los diferentes molinos en serie permite que este sistema logre porcentajes de extracción de entre los 55% a 75% .	II	

		Calidad	Debido a las altas presiones hidráulicas ejercidas en esta configuración y al contacto directo del bagazo, arena y demás abrasivos se presentan altos niveles de contaminantes en los jugos.	I	
--	--	---------	--	---	--

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 12.**Matriz Extracción por difusión.

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
EXTRACCIÓN DE JUGOS	Extracción de sacarosa de caña de azúcar por difusión	Eficiencia	Registros de altos índices de extracción, con medias arriba del 98%.	III	La viabilidad de utilizar la difusión en la extracción de sacarosa es de 91,66%.
		Funcionalidad	Lixiviador de caña o llamado difusor	II	Una economía media de 10-15% en la inversión de capital es esperado con la instalación completa del difusor, comparado a un tándem de molino de igual

		Insumos	El difusor utiliza apenas una pequeña porción del 30% de la energía mecánica total necesaria por molino tándem convencional.	III	capacidad. Asimismo, el difusor requiere 40% menos de capacidad dispuesta para calentamiento y clarificación de jugo y filtraje de lodo. Todos estos beneficios sumado al hecho de lograr porcentajes altos de extracción de jugos hace que sea una opción tecnológica viable de implementación en el Departamento de Santander.
		Calidad	El cuerpo del difusor siendo cerrado y sellado, permite la ausencia de elementos rotativos pesados y el restringido uso de lubricantes aumenta significativamente pureza y limpieza de los jugos.	III	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 13.** Matriz expulsores de tornillo.

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
EXTRACCION DE JUGOS	Expulsores de tornillo	Capacidad	Moliendas que varían entre 0,5 y 3 toneladas de caña molida por hora.	II	En promedio la viabilidad de utilizar expulsor de tornillo es de 83,33%.

		<p>Eficiencia</p>	<p>Capacidad de lograr hasta el 78% de extracción de jugos en la caña de azúcar.</p>	<p>III</p>	<p>Esta tecnología de tornillo cónico y de detección variable no se utiliza comúnmente en la industria panelera, pero debido a que son más eficientes que los molinos de rodillos obteniendo un 15% de mayor extracción de jugos es pertinente la implementación de este sistema que brindara un aumento del rendimiento. Además la adquisición y operación no serían factores que impidan su implementación en los diferentes trapiches del Departamento de Santander</p>
		<p>Calidad</p>	<p>Todas las paredes internas de la carcasa están mecanizadas para lograr una superficie lisa, lo que hace que no haya aspereza y ni acumulación de polvo en las paredes internas que contaminan de forma significativa los jugos extraídos .</p>	<p>III</p>	
		<p>Funcionalidad</p>	<p>Consta de la unidad destructora de tornillo ,con el sistema motriz elegido (motor eléctrico, Diésel ,turbinas de vapor).</p>	<p>II</p>	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 14.** Matriz de evaporador tipo Robert

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración	Evaporador tipo Robert	Funcionalidad	Consta de un gran tubo central de bajada en el que se logra conseguir una excelente circulación de la solución la cual aprovecha el calor de forma muy eficiente.	III	En promedio la viabilidad de utilizar el evaporador tipo Robert es de 58,33%.  El evaporador tipo Robert es el evaporador por excelencia de la industria azucarera gracias a su estabilidad operativa este abrió una brecha tecnológica hacia una transmisión térmica mejorada y a una limpieza simplificada de las superficies de transferencia de calor. Este un equipo que
		Usabilidad	Su diseño es de grande ocupación de espacio pero con muy poca instrumentación y sin bombas de recirculación.	II	

		Limpieza	Requieren una limpieza física con los riesgos que ofrece, ya que las personas ingresan a la caja, lo que ofrece condiciones de trabajo insalubres y peligrosas.	I	puede funcionar sin un sistema de automatización por todas estas razones , hace que sea una buena opción tecnológica de implementar.
		Insumos	según el balance de electricidad, la energía es el costo más elevado de esta configuración	I	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 15.** Evaporador de película descendente.

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración	Evaporador de película descendente	Limpieza	La ventaja de este equipo es que se limpia únicamente con hervir agua dentro del evaporador o con una limpieza química debido al bajo volumen y flujo dirigido.	III	<p>La viabilidad de utilizar evaporadores de película descendente es de 93,33%.</p> <p>Este modelo suele requerir una mayor inversión, ya que aumenta el costo de la energía por reflujo y requiere una mayor automatización. Sin embargo, tiene niveles de inestabilidad bajos en volumen operativo. Es por esto que para un trapiche que tiene suficiente energía eléctrica y una disposición de cultura de automatización es una buena opción.</p>
		Eficiencia	El evaporador está diseñado para una alta eficiencia y velocidades de evaporación altas.	III	
		Rendimiento	Teóricamente tiene la ventaja de reducir la quema de sacarosa debido al bajo tiempo de residencia de los jugos .	II	
		Funcionalidad	Presentan una geometría simple en la que el diámetro, la longitud y número de tubos son	III	

			fijados a partir del área de transferencia de calor.		
		Insumos	Bajo consumo de energía ya que este es dado por el flujo de vapor requerido a una presión específica.	III	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 16.** Matriz modelo de evaporación híbrido

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración	Modelo de evaporación híbrido	Eficiencia	Buena eficiencia térmica gracias a la utilización del calor de los gases exhaustos.	III	La viabilidad de utilizar el modelo de evaporación híbrido es de 91,66%.

		Funcionalidad	Son intercambiadores de calor en acero inoxidable de geometría simple que se sitúa en el ducto de la hornilla buscando la combinación más eficiente según el fenómeno de transferencia de calor preponderante (radiación o conducción).	II	El modelo híbrido, aumenta la eficiencia térmica global hasta un 51% y la productividad en un 30% con relación a hornillas tradicionales; también reduce el índice de bagazo / kg de panela y de las emisiones de kg CO2 y CO / kg de panela. Por tal razón es una tecnología viable de implementación en el Departamento de Santander ya que de esta manera se disminuyen los costos de producción por unidad de tiempo.
		Capacidad	Capacidades de producción desde 75 hasta 200 kg de panela por hora.	III	
		Insumos	Menor uso de combustible debido a la alta eficiencia obtenida eliminando así el uso de combustibles	III	

			adicionales al bagazo.		
--	--	--	------------------------	--	--

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 17.** Matriz evaporadora de múltiple efecto

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración	Evaporador de múltiple efecto	Eficiencia	Demanda el 44% de la energía en la etapa de evaporación y de un 55% de energía en el proceso global con relación al tradicional.	III	La viabilidad de utilizar el evaporador de múltiple efecto es de 86,66%.
		Capacidad	Flujo de jugos clarificados entre los 178 - 200kg/h, mieles de 70 °Brix	II	Este sistema aprovecha el vapor generado en las pailas impidiendo las pérdidas de calor al ambiente ya que dicho calor representa una fuente de energía
		Impacto ambiental	Bajos niveles de contaminantes	III	

			expulsados al ambiente y menor deforestación .		significativa que contribuiría con la rentabilidad de la producción de panela. Este sistema de evaporación de múltiple efecto es una opción tecnológica más eficiente en términos de tiempos de procesamiento y optimización de recursos .
	Funcionalidad	Condensadores, bombas, tanques colectores y de alimentación con sistemas de automatización incorporados. La configuración de 3 efectos es la que mejor se ajustaría en cuanto al ahorro energético.	I		
	Insumos	Disminución de 0,3 a 0,5kg de bagazo (0% H b.h.), por kg de panela, pasando desde 1,5 - 1,8kg a 1,2 - 1,3kg de bagazo consumido	III		

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 18.** Matriz de plantas de punteo por vapor

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración	Plantas de punteo por vapor	Eficiencia	Eficiencia de aprovechamiento del calor cercana al 60%.	II	La viabilidad de utilizar las plantas de punteo por vapor es de 91,66%.  En esta tecnología podemos encontrar como problemática la capacidad mínima mencionada, 50 kilos por hora, es grande para productores que tienen unas pocas hectáreas, como lo son casi todos en el Departamento de Santander, pero con asociaciones puede lograrse procesar la caña de un número plural de pequeños
		Impacto ambiental	Emisiones prácticamente invisibles y limpias, libres de partículas que son atrapadas por el sistema de ciclón de la caldera.	III	
		Capacidad	Capacidades entre 50 y 1.000 kilos/hora.	III	
		Insumos	La utilización del bagazo provee suficiente calor para el proceso y el carbón se emplea para ayudar en el	III	

			secamiento de este.		paneleros. Esta elección logra llevar tecnologías y mercados óptimos a pequeños productores con parcelas de unas pocas hectáreas.
--	--	--	---------------------	--	---

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 19.** Matriz Caldera pirotubular

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración	Caldera pirotubular	Capacidad	Oscila entre 0.2 y 25 t/h (en calderas de 1 hogar) y entre 25 y 60 t/h (en calderas de 2 hogares)	II	La viabilidad de utilización de calderas pirotubulares es de 93,33%.
		Funcionalidad	Son pequeñas y económicas en su adquisición .	III	Este tipo de calderas pirotubulares se presentan viables de implementación en trapiches

		Insumos	Bagazo como combustible, agua con niveles de salinidad (conductividad $\leq 6000 \mu\text{S/cm}$ )	III	pequeños debido a su capacidad y temperatura máxima de operación ,pero que se presentan como unas de las más económicas en su adquisición y de mantenimiento sencillo por su diseño .
		Mantenimiento	Fácil mantenimiento gracias al acceso a las superficies de calefacción.	III	
		Usabilidad	El mantenimiento puede efectuarse a cabo de una forma más facil esto se debe en gran parte a unos esfuerzos visiblemente menores durante la puesta en marcha y durante el paro, así como al fácil acceso a las superficies de calefacción.	III	

**Fuente:** Elaborados por el autor.

**Tabla 20.**Matriz Caldera acuatubulares

ETAPA DE PRODUCCION DE LA PANELA	TECNOLOGIA	CRITERIO	DESCRIPCION	VALORACIÓN.	ANALISIS DE EVALUACIÓN
Limpieza y concentración.	Calderas Acuatubulares	Capacidad	1000 t /h de vapor a 180 bar y 450 °C	III	El promedio de utilizar caldera acuatubulares es de 88,88%.  La implementación de un nuevo proceso a base de calentamiento por vapor de agua es una opción tecnológica viable en la cual la caldera acuatubular permite una ebullición mayor y más controlada, la
		Insumos	Utiliza el bagazo de caña como combustible, agua sin salinidad.	III	
		Estabilidad	Generan calor en una forma muy fácil de controlar (Tmáx 450 °c)	III	
		Rendimiento	Incremento en la temperatura de evaporación de las mieles logran cocción en un menor tiempo.	III	

		Usabilidad	logran evitar dos sucesos de constante ocurrencia y que restan rendimiento como lo son la decantación del material en el fondo de las pailas, y la formación de grumos o residuos en estas .	II	panela logra mejores propiedades (reguladores), a la vez que conserva sus elementos esenciales y nutrientes. El efecto producido en el color de la panela el cual es más consistente y de apreciada tonalidad
		Mantenimiento	Mantenimiento complejo debido a zonas inaccesibles a la inspección ocular (zonas aisladas).	I	homogénea permite una mejor comercialización del producto.

**Fuente:** Elaborados por el autor.

## 9. CONCLUSIONES

El departamento de Santander ha sido y sigue siendo el departamento con mayor producción de panela en el país, aun así, el nivel de tecnología y tecnificación es muy bajo, lo que representa pocas probabilidades de competitividad en mercados de exportación, que permitirían lograr una mayor estabilidad en la industria panelera y con esto beneficiar los productores de la región.

La implementación de nuevas tecnologías en cada una de las operaciones del proceso de producción de panela, que involucran cámaras de combustión, molinos, pailas, transporte de la caña, entre otros, son una gran oportunidad para aumentar la rentabilidad del sector, a través del mejoramiento del nivel de diseño, operación y mantenimiento de los mismos.

La industria de la panela en el departamento de Santander presenta niveles bajos de tecnificación debido al tradicionalismo en las familias productoras y la falta de inversión por parte del estado en la industria panelera.

Mediante la construcción de la matriz con las diferentes tecnologías implementadas o en etapa de investigación se pudo conocer la disponibilidad tecnológica presente para mejorar el proceso productivo de la panela en este caso dirigido hacia el departamento de Santander el cual tiene múltiples desafíos en materia de lograr un proceso con mayor rendimiento y eficiencia, que permita que esta industria sea competitiva y con un visión de inversión por parte de diferentes sectores de la economía.

La utilización de la tecnología del difusor es una alternativa de mejora del proceso de producción de panela que permite tener una eficiencia de extracción hasta de un 90% y además requiere 40% menos de capacidad instalada para calentamiento en el proceso de clarificación de jugos debido a que los jugos que se obtienen son de mayor pureza, lo que representaría un mayor rendimiento en la producción de panela en el departamento de Santander.

Teniendo en cuenta las condiciones topográficas del departamento de Santander, donde se cultiva la caña para la producción de panela, la implementación del sistema de transporte de caña por cable autopropulsado es una opción tecnológica que permite la reducción de tiempo, costos de transporte y el uso de animales para la labor.

La tecnología del tornillo cónico y de detección variable supone una mejora en el rendimiento de la producción de panela, debido a que la cantidad de jugo que se obtiene por cantidad de caña procesada llega a un 78% lo cual contribuiría a que la producción de panela aumente logrando una mayor competitividad.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Ascanio M. O. y Hernández, A. Suelos cañeros en Veracruz y Oaxaca, cambios globales y ambiente. México: Editora Univ. Veracruzana. 2006. 285 p

GREZES P. Jean, 2000. La producción quesera en Cajamarca (Perú): Un ejemplo de "Sistema Agroalimentario Localizado". Perú, IICA, 47p.

FEDEPANELA, 1998. Manual de la Caña de Azúcar. Cali, 35p.

OCHOA, L., BEDOYA, J.P., DUFOUR, D., 1999. Estudio comparativo de la gestión empresarial de dos agroindustrias rurales del norte del departamento del Cauca, Colombia: Trapiches y rallanderías, Cali, Colombia, CIAT, 12 p

RODRÍGUEZ B., GROTTRET V., 2000. Evaluación de la adopción e impacto de la tecnología en la agroindustria panelera y priorización de actividades futuras de investigación y desarrollo. Tibaitatá, Corpoica, 47p.

COLLAGUAZO, K., JÁTIVA, J. (2007). Construcción de un prototipo mecánico de batido para mejorar el proceso de producción de panela granulada artesanal. Tesis (Tecnólogo en procesos de producción mecánica). Quito: Escuela Politécnica Nacional.

CORPORACION PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE TUNIACORPOTUNIA., 2000. Diagnóstico participativo de la dinámica del Mercado de Panela en los departamentos de Cauca, Valle y Eje Cafetero. (Agrocadenas CO, 2004).

PINEDA SANCHEZ, Ángel Marino. Diseño y análisis termodinámico de un sistema de evaporación de triple efecto para el proceso de producción de panela Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2018.

ESPINOZA PARIONA, Gian Carlo Paul Vicente. Estudio fluido dinámico y estructural de pailas paneleras piro tubulares Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.2017.

LA MADRID OLIVARES, Raúl. Uso eficiente de la energía térmica producida por la combustión de biomasa. Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.2012.

MANRIQUE SILUPU, José. Evaluación tecnológica y económica de sistemas de producción de panela con tecnología a vapor. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura, Piura.2010.

Deantonio-Flrido, L. Y., Ospina-Parra, C. E., Varón Ramírez, V. M., & López-González, X. (2020). Tecnologías para el sector panelero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (agrosavia).

VEGA TELLO, Yecenia. Análisis de los cambios en el sistema de producción de panela en las veredas ciénaga chiquita y bajo mondeyal, municipio de isnos – huila, de 1990 a 2017. Tesis para optar el título de Magister en desarrollo rural. Pontificia universidad Javeriana, Bogota.2018.

González KL. Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos en hornillas paneleras WARD - CIMPA en la Hoya del Río Suárez [Disertación]. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander; 2010.

CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. [Sitio web]. Bogotá: AGROSAVIA, Hornillas paneleras eco eficientes tipo Cimpa. [Consulta: 15 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/0132-diseño-y-construcción-de-un-modelo-regional-demostrativo-de-hornilla-panelera-para-tolima>

GUERRERO USEDA, María Eugenia; ESCOBAR GUZMAN, Juan Diego. Eficiencia técnica de la producción de panela. Bogotá, 2015.

DEVIS Enrique, Dynaterm Ltda.; Estudio de Mercado Panela Pura Ltda 2004 y 2005.; Fedepanela.

Solís JR, Pérez F, Orozco I, Flores JL, Ramírez E, Hernández A, et al. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. Revista digital científica y tecnológica. 2006; 4 (1): 1-8.

Duran S., E. 2010. Determinación de la eficiencia energética de un sistema de evaporación de múltiple efecto empleado en la concentración de jugos de caña panelera. Fundación Universidad de América – CORPOICA.

Plan estratégico para el fortalecimiento y modernización de la agroindustria panelera en Colombia. Fedepanela. Corpoica. Abril 2000

GONZALES ROJAS, María carolina. sistema agroalimentario localizado en trapiches paneleros en Santander de Quilichao departamento del cauca-Colombia. (internet).1 ed. Cali (Colombia).Corpotunia centro internacional de agricultura tropical (ciat)-PRODAR (IICA). Febrero 2003. Disponible en internet [url://infoagro.net/shared/docs/a5/sial%20panela%20santander%20-%20inf.final.pdf](http://infoagro.net/shared/docs/a5/sial%20panela%20santander%20-%20inf.final.pdf).

TENORIO DAGUA, Diego Alberto. Proyecto, mejoramiento de la cadena de la agroindustria panelera, con 25 familias de productores del resguardo indígena de munchique los tigres, municipio de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia. Trabajo de grado administración de empresas. Cali. Universidad Santo Tomas. Facultad de ciencias y tecnologías.2016.

L. M. Estrada Marroquín, Análisis mecánico de las chumazaras y los molinos, 2013.

M. L. Vargas Vásquez y L. R. Arenas amaya, «Diagnóstico de las condiciones de trabajo, en los trapiches del municipio de de Chitaraque (Boyacá),» El hombro y la máquina, vol. 41, pp. 45-55, abril 2013.

Z. Sánchez Castro, Sánchez y O. A. Mendieta Menjura, «CASTRO, Zamir Sánchez; MENJURA, Oscar Andrés Mendieta. Ajuste de un modelo matemático para la combustión de bagazo de caña en una cámara Ward-Cimpa. 2014.,» 2014.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2010.

Fedepanela, «Fedepanela.org.co,» 11 septiembre 2015. [En línea]. [Citado: 3 agosto 2021]. Available: <http://www.fedepanela.org.co/index.php/publicacion/noticias/121-primer-contingente-de-panela-colombiana-con-destino-al-africa>.

HERNANDEZ CELY, Sandra Rosario. Vigilancia Tecnológica en el proceso de transformación de la panela artesanal en el corregimiento Laguna de Ortices del Municipio de San Andrés Santander. Maestría en Administración de Organizaciones. Bucaramanga. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios – ECACEN.2020.

MOSQUERA, Silvio Andrés; CARRERA, Jorge Eliecer, VILLADA, Héctor Samuel. Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol 5 No.1 marzo 2007.

Ruge R., I.A. y Pérez H., W.J. (2017). Diagnóstico tecnológico del uso de dispositivos programables en la industria boyacense. Caso de estudio: cadena agroindustrial de la panela. Revista Tecnura, 21(52), 130-147. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017. 2.a09

Rodríguez, S. (2011). Diagnóstico Tecnológico, Herramienta para la Planeación de la Ciencia, la Tecnología. Caso: Cotecmar En:memorias XIV Congreso Latinoamericano de Gestión Tecnológica ALTEC, 10.

KOUHESTANI, S, HONARVAR, M. An overview on panela. Science and research branch.2021. Vol 11, No 1, 35-42.

ALVIS, Armando, PEREZ, Luis, ARRAZOLA, Guillermo. Determinación de las propiedades de textura de tabletas de chocolate mediante técnicas instrumentales.2011.vol 22. N3, pp11-18. 0718-0764.

RAMIREZ GIL, Joaquín Guillermo. Caracterización de sistemas de producción artesanal de caña panelera y algunas perspectivas para mejorar su sostenibilidad. Revista facultad nacional de agronomía.2017, nro 70, ISSN 0304-2847.

VELÁSQUEZ, Fabián, et al. Non- centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. Elsevier 2019.

MARTINEZ NODAL, Pastora, et al. Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. Cuba. Afinidad LXXI.2013.

Weerawatanakorn, M., Asikin, Y., Takahashi, M., Tamaki, H., Wada, K., Ho, C.-T., Chuekittisak, R., 2016. Physico-chemical properties, wax composition, aroma profiles, and antioxidant activity of granulated non-centrifugal sugars from sugarcane cultivars of Thailand. J. Food Sci. Technol. 53, 4084–4092. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2415-5>

Forero, L.E.P., Castro, Z.S., Bernal, H.R.G., Ávila, H.S.R., 2012. Hornillas paneleras WardCIMPA: validación de los modelos matemáticos de diseño Corpoica-UIS. Fuentes El reventón energético 10, 6. Funach Ascapam, 2002. Guía para la elaboración de panela.

García, H.R., Albarracín, L.C., Toscano LaTorre, A., Santana, N., Insuasty, O., 2007. Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera.

García, J.M., Narváez, P.C., Heredia, F.J., Orjuela, Á., Osorio, C., 2017. Physicochemical and sensory (aroma and colour) characterisation of a non-centrifugal cane sugar (“panela”) beverage. *Food Chem.* 228, 7–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.134>.

GÓMEZ, M.A., PORTEIRO, J., PATIÑO, D., MÍGUEZ, J.L., 2015. Eulerian CFD modelling for biomass combustion. Transient simulation of an underfeed pellet boiler. *Energy Convers. Manag.* 101, 666–680. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.003>.

Gordillo, G., Jaramillo, R.C., 2000. Simulación del movimiento del jugo en un intercambiador pirotubular para la industria panelera.

Alarcón, A.L., Narváez, P.C., Orjuela, A., Osorio, C., 2016. Caracterización fisicoquímica y perfil de azúcares de mieles de cana en la producción de panela. *Agron. Colombia.* 34 (1Supl), S1280–S1283.

REYES, J. (2003). “La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental”. *Revista Centro azúcar* No 2: pp. 14-20. ISSN: 02535777.

La Madrid, R., Marcelo, D., Orbegoso, E.M., Saavedra, R., 2016. Heat transfer study on open heat exchangers used in jaggery production modules – computational Fluid Dynamics simulation and field data assessment. *Energy Convers. Manag.* 125, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.005>.

Ramírez Durán, J., Burbano, I., Pardo, M., Liliana, M., 2014. Variedades de Caña de Azúcar Empleadas Para La Agroindustria Panelera de Colombia. *Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica)*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12621>.

La Madrid, R., Orbegoso, E.M., Saavedra, R., Marcelo, D., 2017. Improving the thermal efficiency of a jaggery production module using a fire-tube heat exchanger. *J. Environ. Manag.* 204, 622–636. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.035>.

Rodríguez, A. G; Gottret, M (s.f.). Aprendiendo del pasado para proyectarnos hacia el futuro: adopción e Impacto de la tecnología de panela en la Hoya del Río Suárez y Cundinamarca (Colombia). Informe Técnico.

Rosero, E. M, (2011). Diagnóstico en la producción, transformación y comercialización de panela en cabildos indígenas nasa del norte del Cauca, ante la vigencia y aplicación de la resolución 779 de 2006. Tesis. Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. (2010). Agenda Prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su industria. Bogotá – Colombia.

Flórez. D. (2013). Agenda prospectiva de investigación de la cadena productiva de la panela y su agroindustria. Tecnura, 17: (36), 28 junio de 2021.

Braconi, L. (2011). Innovación en el proceso de cambio tecnológico. Proyecto de investigación. SECTYP, UNCuyo. Recuperado el 12 de agosto de 2021, de [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/3375/innovacionbraconi.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3375/innovacionbraconi.pdf)