



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DISEÑO DEL PROCESO PARA UNA PLANTA PANELERA PILOTO.

**Tesis previa la obtención del Título de:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR: Leonardo Andrés Pita Hidrobo

DIRECTOR: Ing. Jorge Granja

**IBARRA – ECUADOR
2016**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Diseño del proceso para una planta panelera piloto.

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Jorge Granja
DIRECTOR DE TESIS



FIRMA

Ing. Juan Pablo Aragón
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Luis Armando Manosalvas
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Rosario Espín
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO

CÉDULA DE IDENTIDAD:	100338069-6
APELLIDOS Y NOMBRES:	Leonardo Andrés Pita Hidrobo
DIRECCIÓN:	Ibarra, Río Curaray y Río Santiago esq
EMAIL:	andres.180891.ap@gmail.com
TELÉFONO FIJO: 062 - 955 -353	TELÉFONO MÓVIL: 0997100583

DATOS DE LA OBRA

TÍTULO:	Diseño del proceso para una planta panelera piloto
AUTOR:	Leonardo Andrés Pita Hidrobo
FECHA:	28/04/2015

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO

PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial	
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Jorge Granja	

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Leonardo Andrés Pita Hidrobo, con cédula de identidad número 100338069-6, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

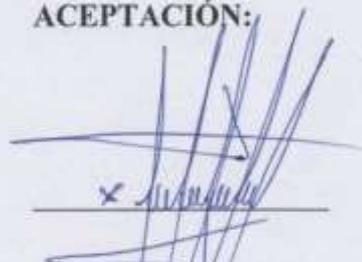
Ibarra, a los 08 días del mes de julio de 2016

EL AUTOR:



Leonardo Andrés Pita Hidrobo

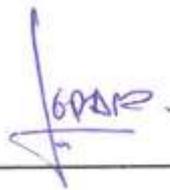
ACEPTACIÓN:



**ING. BETHY CHAVEZ
JEFE DE BIBLIOTECA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Leonardo Andrés Pita Hidrobo, bajo mi supervisión.



Ing. Jorge Granja
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

Yo, Sr. Leonardo Andrés Pita Hidrobo, manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto es original, y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 08 días del mes de julio de 2016



Leonardo Andrés Pita Hidrobo

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Sr. Leonardo Andrés Pita Hidrobo, con cédula de identidad Nro. 100338069-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **DISEÑO DEL PROCESO PARA UNA PLANTA PANELERA PILOTO**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 08 días del mes de julio de 2016



Leonardo Andrés Pita Hidrobo

DEDICATORIA

*El cumplimiento de esta meta se la dedico a mi hija Annie
Valentina, la razón de mi esfuerzo diario y de mis alegrías.
Y a mis padres por su apoyo constante en cada paso de mi
formación.*

Leonardo Andrés Pita Hidrobo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, a la escuela de Ingeniería Agroindustrial y a mis docentes que han sabido transmitirme su sabiduría para ser un buen profesional.

Agradezco especialmente al ingeniero Jorge Granja por haber confiado en mí, que con sus amplios conocimientos y vasta experiencia ha sabido guiarme por el mejor camino para el desarrollo de mi proyecto.

A las personas que me han apoyado de una u otra manera para poder culminar mi investigación, a mi familia, amigos y compañeros por su permanente atención y consideración.

Mi respeto y admiración a los productores de panela que me han abierto las puertas de sus empresas para poder realizar mi trabajo evaluador, agradezco la apertura y su afán por mejorar sus métodos de producción para brindar un mejor producto a los consumidores.

Contenido

Capítulo I. Introducción.....	1
1.1. Problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
Capítulo II. Marco Teórico.....	6
2.1. Caña de Azúcar.....	6
2.2. Agroindustria panelera.....	7
2.2.1. Situación actual de la agroindustria panelera en el mundo.....	8
2.2.2. Situación actual de la agroindustria panelera en el Ecuador.....	8
2.2.3. Situación actual de la agroindustria panelera en Imbabura.....	9
2.3. Proceso productivo de la panela.....	11
2.3.1. Apronte.....	12
2.3.2. Molienda.....	13
2.3.3. Limpieza de los jugos.....	16
2.3.4. Evaporación.....	20
2.3.5. Punteo.....	22

2.3.6. Batido, enfriamiento y moldeo.....	24
2.3.7. Almacenamiento.....	25
2.3.8. Generación de calor.....	25
2.4. Diseño de plantas para procesamiento de alimentos	26
2.4.1. Planta piloto.....	27
2.5.2.Diseño de procesos para la producción de alimentos.....	28
2.5.3. Diagramas de flujo	29
2.5. Optimización y tecnificación de los procesos productivos.....	30
2.5.1. Procesos continuos o en lotes	30
2.5.4. Balance de materiales y energía	32
2.5.5. Dimensionamiento y selección de equipos.	32
Capítulo III. Materiales y Métodos.....	34
3.1. Materiales, equipos e insumos.	34
3.2. Métodos.....	35
Capítulo IV. Diagnóstico.....	36
4.1. Antecedentes diagnósticos	36
4.2. Objetivos diagnósticos	37
4.3. Variables diagnósticas.....	37
4.4. Indicadores.....	38
4.5. Matriz de relación	39

4.6. Mecánica operativa.....	42
4.6.1. Identificación de la población	42
4.6.2. Identificación de la muestra	43
4.6.3. Información primaria.....	43
4.7. Tabulación y análisis de información	44
4.7.1. Variable: Molienda.....	44
4.7.2. Variable: Limpieza	47
4.7.3. Variable: Evaporación.....	51
4.7.4. Variable: Concentración.....	52
4.7.5. Variable: Batido	53
4.7.6. Variable: Moldeo.....	54
4.7.7. Variable: Empaque.....	55
4.7.8. Variable: Almacenamiento.....	56
4.7.9. Variable: Generación de calor.....	57
4.8. Balance de materiales.	58
4.9. Matriz FODA.....	64
4.9.1. Matriz de análisis de factores internos (MEFI).....	65
4.9.2. Matriz de análisis de factores externos.....	66
4.9.3. Estrategias FO, FA, DO, DA.....	67

Capítulo V. Diseño del proceso para una planta panelera piloto.....	70
5.1. Estudio y análisis de las alternativas.	70
5.2. Selección de alternativas	91
5.2.1. Balance de materiales	94
5.2.2. Requerimientos de energía	97
5.2.3. Representación gráfica del proceso	99
5.2.4. Comparativa del diseño del proceso propuesto con el proceso actual.	101
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones	106
Conclusiones.	106
Recomendaciones.....	107
Bibliografía	108
Anexos	118

Índice de tablas

Tabla 1 Variedades de caña cultivadas en la zona norte del Ecuador	10
Tabla 2. Materiales y equipos	34
Tabla 3. Matriz de relación.....	40
Tabla 4: Productores de panela de los cantones Ibarra y Urcuquí de la provincia de Imbabura identificados	42
Tabla 5. Indicador: Capacidad de extracción de jugo.	44

Tabla 6. Indicador: Capacidad de extracción de sólidos.	45
Tabla 7: Indicador prelimpieza.....	47
Tabla 8. Indicador: precalentamiento	48
Tabla 9 . Indicador: Clarificación (características de la tina).....	48
Tabla 10. Indicador: Clarificación (operación)	49
Tabla 11. Indicadores: tinas y registro de controles técnicos.....	51
Tabla 12. Temperatura de ebullición y punto de saturación.....	52
Tabla 13. Indicador batido.....	53
Tabla 14: Indicadores del moldeo.	54
Tabla 15. Indicadores del empaque.	55
Tabla 16. Indicadores del almacenamiento	56
Tabla 17. Indicadores de la generación de calor	57
Tabla 18. Balance de materiales	60
Tabla 19. Resultados del balance de materiales total	62
Tabla 20. Balance de materiales, solidos totales	63
Tabla 21. Balance de materiales total para panela granulada.....	95
Tabla 22. Balance de materiales para la producción de panela en bloque	95
Tabla 23. Balance de materiales para los sólidos totales en la producción de panela.....	96
Tabla 24. Requerimientos de energía para el proceso propuesto	98

Tabla 25: Tabla comparativa del proceso actual y el proceso propuesto	101
---	-----

Índice de ilustraciones:

Ilustración 1. Diagrama de flujo proceso actual de la panela	11
Ilustración 2: Masas y placa bagacera	14
Ilustración 3: Trituradora y molino de tres masas	14
Ilustración 4. Masas de la trituradora de caña Fulton	72
Ilustración 5: Disposición de la placa de alimentación entre la trituradora y el primer molino.....	72
Ilustración 6. Tándem de molienda. Circuito de Imbibición.....	73
Ilustración 7. Vista de techo, corte A-A` y vista de frente del prelimpiador CIMPA.....	75
Ilustración 8. Prelimpiador uno	76
Ilustración 9. Dimensiones prelimpiador uno.....	76
Ilustración 10. Prelimpiador dos.....	77
Ilustración 11. Dimensiones prelimpiador dos	77
Ilustración 12. Partes de la hornilla panelera tradicional.....	86
Ilustración 13. Cámara de combustión Plana – CIMPA.....	87
Ilustración 14. Cámara de combustión Ward - CIMPA	88
Ilustración 15. Hornilla Ward - CIMPA.....	89
Ilustración 16. Flujograma de proceso de la panela, balance de materiales.....	94

Ilustración 17: Flujograma de proceso de la panela, requerimientos de energía.....	97
Ilustración 18: Diseño del proceso para la planta piloto (vista lateral)	99
Ilustración 19: Diseño del proceso para la planta piloto (vista frontal).....	100
Ilustración 20 Fábrica Panelera visitada Mesias Yépez	124
Ilustración 21 Fábrica panelera visitada Marco Montalvo	124
Ilustración 22 Fábrica panelera visitada Gustavo Yépez.....	125
Ilustración 23. Fábrica panelera visitada Antonio Montalvo	125
Ilustración 24. Molienda de la caña de azúcar en proceso actual.....	126
Ilustración 25. Molienda de caña de azúcar vista frontal.	126
Ilustración 26. Filtro de prelimpieza del jugo de caña.	127
Ilustración 27. Filtro de prelimpieza 2.....	127
Ilustración 28. Cachaza negra de la tina de clarificación 1	128
Ilustración 29: Medición de grados Brix en los jugos	128
Ilustración 30. Cachaza blanca de la tina de clarificación 2.....	129
Ilustración 31, Extracción de cachaza blanca tina de clarificación 2.	129
Ilustración 32: Medición de temperaturas	130
Ilustración 33: Tinajas de evaporación.....	130
Ilustración 34: Tinajas de evaporación y manejo de los jugos	131
Ilustración 35: Tinajas de evaporación y de concentración.....	131

Ilustración 36: Tina de punteo	132
Ilustración 37: Salida de la panela para enfriamiento y batido.....	132
Ilustración 38: Tina de batido de la panela.....	133
Ilustración 39: Batido de la panela	133
Ilustración 40: Panela luego del enfriamiento y batido	134
Ilustración 41: Moldeo de la panela	134
Ilustración 42: Moldes de panela.....	135
Ilustración 43: Enfriamiento de la panela.....	135
Ilustración 44: Piezas de moldes en el tanque de limpieza.....	136
Ilustración 45: Panela, previo al empaque.....	136
Ilustración 46: Empaque de panela.....	137
Ilustración 47: Almacenamiento de panela expuesta al ambiente.....	137
Ilustración 48: Almacenamiento de panela	138
Ilustración 49: Cámara de combustión del bagazo	138
Ilustración 50: Alimentación de bagazo a la cámara de combustión.	139
Ilustración 51: Salida de gases de combustión por la chimenea.....	139

Resumen

La presente investigación tiene como finalidad mejorar el proceso de producción de la panela a través del diseño del proceso para una planta piloto. En el estudio se realizó un diagnóstico en seis plantas paneleras de la zona, que se encontraban activas durante el período del 01 de octubre al 30 de noviembre de 2014 en los cantones Ibarra y Urcuquí, de la provincia de Imbabura.

El diagnóstico consistió en la evaluación de seis variables dentro del proceso de producción de la panela: molienda; concentración del jugo de caña; batido, moldeo o granulado, empaque y almacenamiento de la panela, generación de calor.

A partir de los resultados del diagnóstico, se propone el diseño del proceso de producción panelera bajo estándares de industrialización eficientes y buenas prácticas de manufactura. La propuesta incluye los cálculos necesarios para el manejo de la materia prima, energía requerida y balance de materiales. Para mejor visualización, se realiza un modelado en una herramienta de software (Auto-CAD) con una animación 3D del proceso.

Finalmente, se comparan los procesos de producción actual y el diseño propuesto, evidenciando las mejoras en innovación tecnológica que se le han dado al proceso en cada una de sus fases y, por consiguiente, la eficiencia productiva del diseño actual.

Abstract

This research aims to improve the quality in the production process of panela through the design of a pilot plant for Ibarra and Urcuquí cantons of the province of Imbabura. In the study, a diagnosis was made in six panela plants into the area, who were active during the period from October 1 to November 30, 2014.

The diagnostic evaluation consisted of six variables in the production process of panela: grinding; concentration of cane juice; smoothie, or granular molding, packaging and storage of panela, heat generation.

From the diagnostic results, the design of the production process panela with standards of efficient industrialization and good handling practices is proposed. The proposal includes the calculations necessary for handling the raw material required energy and material balance. For better visualization, modeling is performed on a software tool (Auto-CAD) with a 3D animation of the process.

Finally, current production processes and the proposed design are compared, showing improvements in technological innovation that has been given to the process in each of its phases and therefore the production efficiency of the current design.

Capítulo I. Introducción

Según la Food and Agriculture Organization (FAO), Ecuador se suma a la lista de los 25 países productores de panela a nivel mundial. Liderado por la India, que elabora el 87% de los 13 millones de toneladas anuales, el mercado panelero se postula como un consumo alternativo a otros tipos de edulcorantes cada vez menos apreciados. Además de esto, la agroindustria panelera constituye a nivel mundial, una respuesta efectiva a la economía rural y al cultivo de la tierra.

La tradición panelera en Ecuador tiene tanta historia como la propia conquista. Traída a América por Cristóbal Colón, la caña de azúcar ha sido una planta difundida por todas las zonas tropicales del continente, y de ella derivan diversos productos entre los que se encuentra la panela, tanto en bloque como granulada. En el país la caña de azúcar se cultiva en las regiones de la sierra, costa y oriente y la producción nacional panelera tiene rendimientos del 10 al 15% (MAGAP, 2015).

La agroindustria panelera ha tenido un desarrollo lento y poco valorizado en el país. Las provincias que más destacan en la producción nacional son: Guayas, Cotopaxi, Pichincha, Azuay, Cañar, Loja, Chimborazo e Imbabura. Las provincias del oriente ecuatoriano tienen

un cultivo de caña de azúcar mucho menor y, por consiguiente una producción más baja del producto.

Con una producción esencialmente artesanal, condiciones irrisorias de infraestructura, insuficiente investigación e innovación en el área y precarias prácticas de manufactura e higiene, la agroindustria panelera del país carece de estándares competitivos para el mercado mundial.

La provincia de Imbabura, contexto geográfico del presente trabajo investigativo, ofrece condiciones óptimas para el cultivo de la caña de azúcar en los cantones de Ibarra y Urcuquí, donde la elaboración de panela se realiza a través de una manufactura exenta de controles de calidad, recursos tecnológicos, procesos automatizados y condiciones mínimas de asepsia. Un caso prototípico de la problemática que se presenta a nivel nacional.

La presente investigación propone mejorar las condiciones de producción panelera a través del diseño del proceso en una planta piloto, que contemple los recursos tecnológicos y los estándares de calidad necesarios para que la agroindustria panelera de la provincia logre niveles competitivos de producción en el ámbito nacional e internacional.

1.1. Problema

El problema más importante en la agroindustria panelera es la baja tecnificación, la cual es causada por muchas variables, tales como:

El proceso de extracción de jugo de caña: este es uno de los procesos más importantes en la producción de panela. Se realiza en el trapiche; y de su diseño y manejo depende el rendimiento del sistema, sin embargo; el porcentaje de extracción de jugo no es eficiente y

genera pérdidas. Existen además contaminaciones físicas y/o biológicas en esta operación unitaria.

El sistema para concentración de sólidos: no cuenta con un cálculo de capacidades, tiempos de proceso, aprovechamiento del calor producido en los hornos y eficiencia, además, se produce contaminación y desperdicio de energía.

El proceso de batido, enfriamiento y moldeo: se lleva a cabo sin los equipos adecuados, inexistentes cálculos de capacidades, lo cual impide la estandarización de los productos, generando pérdidas y contaminación, que disminuyen el tiempo de vida del producto.

Los puntos críticos de manufactura: no están bien definidos, tiene como efecto el deterioro de la calidad de la panela, pérdidas en el proceso y un producto no estandarizado.

La infraestructura en la que se produce la panela: es inadecuada y origina contaminación cruzada, mineral y orgánica; pérdidas de tiempo y producto. Los hornos son construidos con un conocimiento empírico y provocan baja eficiencia energética, baja productividad, calidad deficiente de la panela y por ende, aumento de los costos de producción.

1.2. Justificación

En Imbabura, el sector agropecuario es el de mayor participación en las actividades productivas de la provincia, con un 28%, que representa alrededor de 56.400 personas vinculadas. Le siguen la industria manufacturera, con un 19% y el comercio por mayor y menor, con un 17%. Estas tres actividades ocupan el 60% de la actividad productiva de la provincia, siendo la agropecuaria la de mayor incidencia. De igual manera, la agricultura imbabureña aporta con un 11% al producto nacional bruto sectorial, lo que significa un total de 72 millones de dólares (MCPEC, 2011).

Con un total de 18.840 hectáreas (Has.), el 37,4% de la superficie territorial se destina a actividades agropecuarias. Entre los cultivos considerados como permanentes, se encuentra la caña de azúcar, con una superficie de 3.808 H.as., lo que representa un 31% del total. Cultivado (MCPEC, 2011).

Los cantones Ibarra y Urcuquí se han caracterizado históricamente por el cultivo de la caña de azúcar y la producción panelera. En el cantón Urcuquí, a pesar de la intervención de la Ciudad del Conocimiento en las haciendas de la zona, el 37% de la población trabaja como jornalero y el 61,44% de la estructura productiva pertenece a las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, según afirma el Plan Actualizado de Ordenamiento Territorial para este territorio (2014).

De acuerdo con el censo agropecuario del cantón Urcuquí (2014), la caña de azúcar ocupa el primer lugar entre los cultivos permanentes del cantón, con una superficie sembrada de 2.353,7 has. Y 1002,02 UPAS, Cada año el cantón celebra el tradicional festival de la caña de azúcar, como expresión de su cultura agrícola.

Sin embargo, la agroindustria panelera del cantón, directamente relacionada al cultivo de la caña de azúcar, se realiza con medio, métodos y técnicas precarias de producción. Las plantas en las que se procesa panela son artesanales y no brindan las condiciones adecuadas de trabajo; condiciones que obstaculizan la valorización del producto, haciéndose muy difícil la comercialización en los mercados nacionales e internacionales.

Al diseñar una planta piloto se propone un nuevo sistema de producción de panela, mejorando los procesos actuales, tecnificando los equipos, planteando una distribución eficiente y una infraestructura adecuada para el procesamiento de alimentos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar el proceso para una planta panelera piloto.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Evaluar el proceso de producción de las agroindustrias paneleras de la provincia de Imbabura.
- Diseñar los procesos de producción.
- Comparar el diseño del proceso propuesto con el proceso actual.

Capítulo II. Marco Teórico

1.1. Caña de Azúcar

La caña de azúcar es uno de los cultivos más importantes de mundo. Como menciona Manrique et al. (2000), esta gramínea ha sido cultivada por el hombre desde hace 1000 años, aproximadamente. Los primeros cultivos datan en las regiones de la India, China o Nueva Guinea, para luego difundirse, por Alejandro Magno, a Persia y, por Cristóbal Colón, a América.

Perteneciente al género *Saccharum*, actualmente la caña de azúcar que se cultiva es un híbrido de dos o más de las cinco especies existentes. Inicialmente, los cruzamientos se produjeron de manera natural, hasta que el desarrollo de técnicas de cruzamiento artificial permitió la obtención de más de mil variedades por año, de acuerdo a los requerimientos y necesidades de cada zona de cultivo (Manrique, Prada, & Aguiar, 2001).

De acuerdo con las cifras del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), en Ecuador existen 79.913 hectáreas de caña de azúcar, con una producción bruta de 5,610.041 TM, y un rendimiento promedio de 70,30 TM/ha. En la sierra ecuatoriana se encuentra la mayor superficie de producción de caña de azúcar, llegando a las 59. 249 ha., con una producción de 3,106.192 TM. (MAGAP, 2015).

La caña de azúcar está compuesta principalmente por un 16% de sacarosa, 70% de agua y alrededor del 14% de fibra (Fiallos & Quilambaqui, 2011). Dicha composición puede variar de acuerdo a la zona de cultivo (Rojas, 1998), y su calidad depende del contenido de sacarosa en el jugo misma, que va desde el 5% al 20% (Singh, Nigam, & Singh, 2013).

Uno de los principales derivados de la caña de azúcar es la panela, producto obtenido mediante la evaporación, concentración y clarificación del jugo de caña de azúcar, que dependiendo de la temperatura de punteo se obtienen diferentes tipos de panela. (NTE INEN 2331, 2002)

La panela es el producto sólido de cualquier forma y presentación proveniente de la evaporación de jugo caña de azúcar, sin centrifugar, que contiene microcristales inapreciables por el ojo humano, que mantiene sus constitutivos como sacarosa, glucosa, minerales, no provenientes de la reconstitución de sus elementos (ICONTEC, 2009)

En términos generales se puede definir que la composición de la panela es: azúcares (principalmente sacarosa) y pequeñas cantidades de otros componentes como agua, cenizas, proteínas y sólidos insolubles, también se puede definir una presencia importante de un grupo de minerales (K, Ca, P, Mg, Na, Fe, Mn, Zn y Cu) (Guerra & Mujica, 2010).

1.2. Agroindustria panelera

El proceso de producción de panela tiene un carácter esencialmente empírico y su transmisión es generacional. García, Albarracín, y Toscano (2007) definen a la agroindustria panelera como las instalaciones organizadas en donde se ubican los equipos necesarios para realizar las operaciones que permiten transformar la caña de azúcar en panela. Por otro lado, Mujica, Guerra y Soto (2008) sostienen que “las agroindustrias

paneleras a nivel mundial son centros artesanales y tradicionales, donde se evaporan los jugos de caña hasta la obtención de panela sin un control técnico y con una baja organización” (pág.37). Ambas definiciones expresan una carencia de automatización que trae como consecuencias pérdidas en la cantidad y calidad del producto.

1.2.1. Situación actual de la agroindustria panelera en el mundo.

La producción de panela a nivel mundial se reporta en 25 países, alcanzando los 13 millones de toneladas anuales (Motoya, 2009). Los principales productores de panela son India, Colombia, Myanmar, Pakistán y China, sumando entre ellos el 87% de la panela producida anualmente, y siendo su principal mercado Europa, Rusia y Estados Unidos. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología, que incide directamente en casi todas las esferas de producción, no ha penetrado en la agroindustria panelera. (Kumar, 2010).

En América Latina, la producción de panela se encuentra en casi todos los países de la región. Según las últimas estadísticas publicadas por la FAO, la producción regional alcanza el 13% de la producción anual (2009). Entre los principales productores destacan Colombia, Brasil, México, Guatemala y Venezuela. La producción de panela alcanza hasta 1 800 000 toneladas anuales (Castellanos, Torres, & Flores, 2010).

1.2.2. Situación actual de la agroindustria panelera en el Ecuador.

El sector agroindustrial contribuye en un 0,43% al incremento del Producto Interno Bruto (PIB) del país, siendo la panela uno de los productos más destacados en exportación (Pro Ecuador, 2013).

Los principales países importadores de panela ecuatoriana son: Italia, España, Alemania, Holanda y Francia (Corrales, 2012). Puede afirmarse que es un mercado en crecimiento ya

que, en general, el mundo ha vuelto su mirada sobre los productos naturales, siendo la panela un producto esencial como alternativa al consumo de azúcar refinada (Flores, 2013).

La actividad panelera en Ecuador ha recibido muy poco apoyo técnico, a lo sumo, la implementación de molinos de combustión interna en algunos casos y, eléctricos, en otros (de los Reyes, 2011). Factores como el desconocimiento de elementos técnicos del proceso, los estándares de higiene y buenas prácticas, inciden negativamente en la producción y comercialización de la panela. Las oportunidades de exportación panelera que se abren a los productores ecuatorianos, así como el consumo interno, requieren de la implementación de procesos industrializados y técnicas estandarizadas que respondan a la demanda. (Aguilar J. , 2013). Sin embargo, de acuerdo con Játiva & Collahuazo, citado por: (Aguilar D. &., 2013), la capacidad de producción de la mayoría de paneleras en el país no sobrepasa los 30 kg por hora.

1.2.3. Situación actual de la agroindustria panelera en Imbabura.

En la provincia de Imbabura, la panela ha sido un producto tradicional en el consumo rural, alcanzando actualmente todos los estratos sociales por su riqueza nutricional y considerarse más saludable.

Para Freire y Landázuri (2007), citado por: (Aguilar D. &., 2013), Imbabura es reconocida como una de las provincias más destacadas a nivel nacional en producción panelera, junto a Bolívar, Pichincha y Pastaza, entre otras.

Según datos del Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM) en la zona norte se cultiva caña de azúcar de las siguientes variedades y proporciones:

Tabla 1 Variedades de caña cultivadas en la zona norte del Ecuador

VARIEDADES	SIMBOLOGÍA	PORCENTAJE (%)
Puerto Rico – 980	PR- 9810	55,64
Campus Brasil	CB	27,36
Tababuela – 76	TB -76	11,58
Puerto Rico – 106	PR - 1016	2,28
Barbados	B - 40	1,87
Azul Casa Grande	ACG	0,9
Barbados Híbridos – 1012	BH - 1012	0,34
Piojota Negra	POJ	0,03
TOTAL		100

Nota fuente: IANCEM citado por Sáenz, (2013).

Enríquez (2004), en su análisis técnico de la agroindustria panelera en Ibarra y Urcuquí señala que en la Provincia de Imbabura las variedades de caña de azúcar más empleadas en la agroindustria panelera son Campus Brasil y Puerto Rico.

Las tecnologías utilizadas actualmente en las plantas paneleras de la provincia datan de más de 50 años. Existen falencias notables en los procesos productivos, la infraestructura y la manipulación higiénica del producto. Entre ellas, pueden puntualizarse:

- Centros paneleros de infraestructura deficiente, contruidos en madera, pisos de tierra y techos de paja, sin protección para el ingreso de animales propios del campo ni servicios de higiene mínima para los trabajadores.
- El funcionamiento de trapiches móviles, artesanales, con tecnología obsoleta.
- El uso de clarificadores químicos no permitidos en el procesamiento de la panela.
- Carencia de medidas de protección e higiene para la manipulación del producto en elaboración.

Todo lo anterior demuestra la necesidad de implementar procesos industrializados bajo normas de buenas prácticas y condiciones laborales eficientes que potencien la producción panelera en la provincia.

1.3. Proceso productivo de la panela

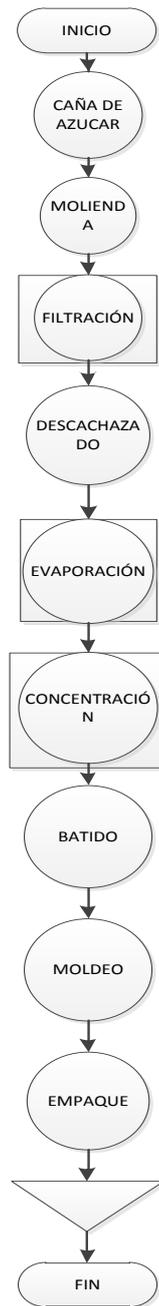


Ilustración 1. Diagrama de flujo proceso actual de la panela

Nota Fuente: Pita, L., diagrama de flujo elaborado por el autor (para disertación de pregrado)

1.3.1. Apronte.

Es el primer proceso previo a la elaboración de panela. Corresponde al conjunto de operaciones: corte, alce, transporte (CAT) y almacenamiento de la caña en el trapiche.

El corte de la caña puede ser: mecánico, que se ejecuta con máquinas cosechadoras de caña que además cargan la caña al transporte, la desventaja de las cosechadoras es que para su funcionamiento requieren que el terreno sea llano, cualquier elevación o pendiente en el terreno imposibilitan su funcionamiento; el corte manual, se realiza con jornaleros que emplean herramientas de corte como: machetes, cuchillos, hoz, etc., estas herramientas varían de acuerdo a la zona y a la tradición.

El alce de la caña al transporte es una de las operaciones que más complica la labor del apronte, el peso de la caña y dificultad del manejo de la caña cortada influyen en la baja disponibilidad de mano de obra para esta dura labor. Esta actividad depende del tipo de transporte, la disponibilidad de personal, el grado de tecnificación de la empresa, la disponibilidad de maquinaria, la accesibilidad al terreno, etc.; existe maquinaria para la carga de la caña, de diferentes capacidades y precios, muy útiles en terrenos llanos de fácil acceso y cuando el transporte tiene gran capacidad de carga sobre las 10 toneladas; sin embargo, el trabajo manual es necesario o inevitable cuando las condiciones de acceso son difíciles, cuando no existe disponibilidad de maquinaria, cuando el transporte es de baja capacidad de carga etc.

Para llevar la caña de azúcar desde el lugar de cosecha hasta la planta de procesamiento existe gran variedad de transportes, van desde animales como mulas, caballos, vacas o burros, camiones, tráiler, tractores, camionetas, trenes, en algunas empresas se transporta la

caña a través de bandas de transportación, canales de agua, etc. Esta actividad depende principalmente de las condiciones de acceso a los cañaverales, la capacidad económica de la empresa para adquirir maquinaria de carga, la disponibilidad de tecnología, etc.

El tiempo del apronte debe ser lo más corto posible para evitar la deshidratación del tallo y la inversión de la sacarosa (glucosa y fructuosa). En cualquier condición, es recomendable almacenar la caña bajo techo para protegerla del sol (Osorio, 2007), (García, Albarracín, & Toscano, Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera, 2007).

1.3.2. Molienda.

La extracción es un proceso estrictamente volumétrico y consiste en separar el jugo con sacarosa de la caña, se puede hacer de dos maneras:

- Haciendo que la caña pase entre dos cilindros, sometiéndola a fuerzas de presión y rotación. Este proceso es ampliamente utilizado en las agroindustrias paneleras debido a su acción continua, fácil manufactura, mantenimiento, reparación, y operación.
- Mediante la difusión, que extrae el jugo mediante la aplicación de calor, la inmersión en agua y exprimiendo el bagazo. La difusión se basa en la osmosis en la caña (Delden, 2013).

Singh & Singh (2012) sostienen que “la productividad de una agroindustria panelera depende del aprovechamiento que se le dé a sus materias primas, es decir la cantidad de jugo de caña que se logre extraer debe ser la mayor posible” (pág21).

Molinos

En las agroindustrias paneleras se empezó a utilizar el trapiche de tres masas horizontal mucho tiempo después de la implementación de estos en la industria azucarera alrededor de los años 1950.

Los molinos de caña consisten esencialmente en tres masas horizontales generalmente fabricados en hierro, conectadas entre sí por engranajes. La masa superior, a su vez, está conectada con otros engranajes hasta conectar con el motor (Jenkins, 2013). La función del molino es triturar y aplastar la caña de azúcar para extraer el jugo y la sacarosa diluida en él. Se trata de que el producto final de la molienda sea, por una parte, el jugo de caña y, por el otro, el bagazo, que es la fibra de la caña (Payne, 1996). La caña de azúcar es aproximadamente el 85% jugo. En la trituradora y el primer molino se extrae cerca del 60 al 70 % del jugo y en un tren de molienda se logra extraer cerca del 85% en los demás molinos (Baikow, 1982).

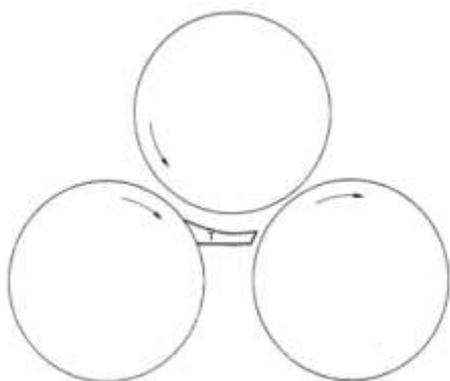


Ilustración 2: Masas y placa bagacera

Fuente: Jenkins (2013).

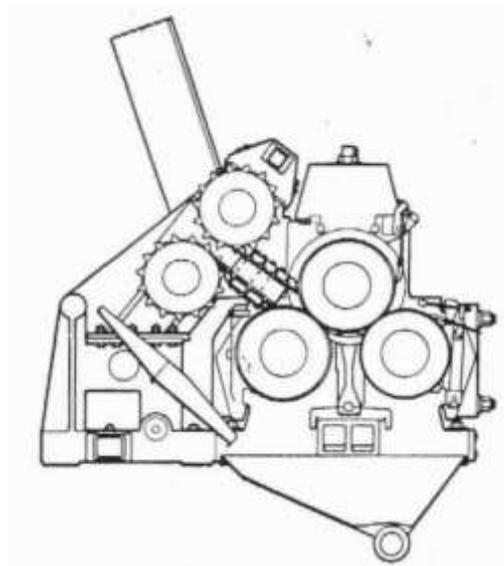


Ilustración 3: Trituradora y molino de tres masas

Fuente: Hugot, E., (1986)

La capacidad de extracción de un trapiche está sujeta a muchas variables como son: la variedad de caña, el contenido de fibra, el diseño del trapiche, etc., sin embargo, Mendoza (2007) sostiene que “a pesar de todas las variables que pueden influir en las capacidades de extracción más de un 80% depende de la capacidad del trapiche y su correcto manejo” (pág. 20). El correcto diseño y operación del molino, requiere del conocimiento de todas las variables que intervienen en el proceso (Díaz, 2012).

Con los trapiches que se utilizan en la agroindustria panelera se considera que extracciones de 58 a 63 % son satisfactorias, es decir 580 a 630 kilogramos de jugo de caña por Tonelada caña molida (Villalba, y otros, 2000).

La ecuación utilizada para determinar la extracción en peso es la siguiente:

$$Ep = \frac{Pj}{Pc} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

Ep: Extracción en peso

Pj: Peso del jugo

Pc: Peso de la caña

Este valor es referencial ya que no refleja realmente la capacidad de extracción de sólidos. Para conocer la capacidad de extracción real se debe tomar en cuenta el contenido de fibra en la caña que está en un rango del 13 y 18% (Hugot, 1986) y las ecuaciones para obtener la extracción real son:

$$Er = \frac{Pj}{Pc - Pf} \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

Er: Extracción real

Pf: Peso de la fibra

1.3.3. Limpieza de los jugos.

Villalba, Uribe, Gómez, Mora, Rey, & Londoño, (2000) definen esta etapa del proceso como aquella en la que se retiran todas aquellas impurezas gruesas de carácter no nutricional por medios físicos (decantación y flotación en el pre limpiador), térmicos (en las primeras pailas) y bioquímicos (con los aglutinantes).

Comprende dos operaciones que se presentan a continuación: prelimpieza y clarificación.

Este proceso se lleva a cabo en el prelimpiador y en dos tinas, la tina 1 de recepción de los jugos tiene tres funciones: recibir los jugos luego de la prelimpieza, precalentar los jugos y extraer la cachaza negra, que se forma al calentarse los jugos, sin la aplicación de ningún agente clarificador.

La tina 2 de clarificación recibe los jugos precalentados, lleva a los jugos a temperatura de ebullición, como se puede apreciar en la tabla 7, al alcanzar la temperatura de ebullición los operarios añaden el agente clarificador, en esta tina se forma la cachaza blanca por acción del agente clarificador, los operarios extraen la cachaza blanca y la colocan en un balde, luego de extraer toda la cachaza blanca que produce el jugo colocan la cachaza blanca en la tina 1; los jugos limpios pasan a las tinas de evaporación y continúan con el proceso.

Prelimpieza.

Es el proceso de limpieza por el cual pasa el jugo en frío recién extraído utilizando un sistema de decantación natural. El prelimpiador se encuentra a la salida del trapiche y antes de la paila recibidora de jugo, en este dispositivo se eliminan precursores que dañan la calidad de la panela, como son: bagacillo, tierra, lodo y arena (Villalba, et al. 2000).

La necesidad de un sistema de prelimpieza del jugo de caña en el proceso de la panela es de gran importancia como lo señalan García, Albarracín, & Toscano, (2007) La prelimpieza del jugo de caña consiste en eliminar por medios físicos las impurezas gruesas presentes en el jugo de caña, disminuyendo el riesgo de contaminación física de la panela y evitando problemas de incrustaciones en las tinajas.

Clarificación.

Esta fase consiste en la eliminación de las cachazas que son sólidos en suspensión, tales como bagacillos, hojas, arenas, tierra, sustancias coloidales y sólidos no solubles presentes en el jugo de la caña. La limpieza de los jugos ocurre gracias a la acción combinada del calentamiento y la acción aglutinante de ciertos compuestos naturales permitidos dentro de las BPM como los cadillos o mucilagos de algunas plantas; los efectos de la clarificación se miden por la turbidez del jugo, un clarificador será mejor cuando más baja sea la turbidez del jugo luego de su aplicación, los valores de turbidez luego de la clarificación deben estar bajo los 50 NTU (Osorio, 2007).

Al elevarse las temperaturas hasta los 75 y 82 °C se forma la superficie llamada cachaza negra y debe ser retirada mediante un colador que arrastre el mínimo de jugo posible. Al llegar a los 92 °C se añade el mucilago aglutinante con el que se clarifica el jugo y se

forma una nueva superficie llamada cachaza blanca, más liviana que la cachaza negra. Se debe retirar muy pronto esta formación ya que si los jugos llegan a la ebullición la cachaza vuelve a mezclarse con el jugo y resulta muy difícil limpiar el jugo (Villalba, et al., 2000).

Prada (2002) define a la clarificación como la etapa del proceso panelero en la cual gracias al calentamiento de los jugos algunas sustancias disueltas en él se muevan y choquen unas contra otras aglutinándose y formando cachaza, misma que se retira con un remellón; es importante que el calentamiento de los jugos durante el proceso de clarificación sea rápido 1,5°C por minuto.

En la clarificación se estima una pérdida entre el 2 y 5 % en peso; sin embargo, en caso de mediciones más específicas estos valores deben ser comprobados experimentalmente. La ecuación de las pérdidas en la clarificación es la siguiente:

$$Cz = Jl + \text{clarif.} - Jcl \quad (3)$$

Donde:

Cz : Cachaza
Jl : Jugo limpio
Clarif.: clarificador
Jcl: Jugo Clarificado

Para un cálculo porcentual de las pérdidas de cachaza se utiliza la siguiente ecuación

$$Pcz = \frac{Cz}{Jl} \times 100 \quad (4)$$

Dónde:

Pcz : Perdida de Cachaza

Agentes aglutinantes.

Tradicionalmente se han empleado aglutinantes naturales como los polímeros de algunas plantas y en los últimos años polímeros químicos (Prada, 2002).

Los mucilagos son sustancias babosas extraídas de la corteza de algunos árboles los más utilizados en Colombia son el cadillo, el balso y el guásimo, mientras que en Ecuador la yausabara. Los polímeros químicos se emplean disueltos en agua a una concentración de 2 a 10 ppm pero requieren de un pH específico existen polímeros artificiales como el Mafloc 975.

Aglutinantes naturales

En un estudio realizado por Gallardo & Quezada (2014) se investigaron catorce plantas mucilaginosas que son empleadas regularmente en las agroindustrias paneleras, midiendo la turbidez del jugo de caña luego de la aplicación del mucilago de las plantas en la clarificación del jugo de caña, teniendo los mejores resultados con las siguientes plantas: Yausabara (*Pavonia sepium* A. St-Hil) y Yausa (*Abutilon insigne* Planch), con la aplicación de mucilago de yausabara se obtuvieron valores de turbidez de 39 a 41,3 NTU y yausa (53 a 55,5 NTU), se compararon los valores obtenidos con los valores de turbidez que se manejan en un ingenio azucarero (46 - 50 NTU), cabe tomar en cuenta que en un ingenio azucarero aplican procesos de alcalinización, sulfitación y fosfatación, además, clarificación con aglutinantes sintéticos. Según Quezada (2006) se debe añadir entre 500 y 600 ml de mucilago de yausabara por cada 25 litros de jugo de caña.

Es evidente que los aglutinantes naturales que se emplean regularmente en la agroindustria panelera pueden tener mejores resultados que los aglutinantes sintéticos.

1.3.4. Evaporación.

Saravacos & Kostaropoulos (2002), sostienen que:

“La evaporación es un proceso de separación física que remueve el componente más volátil de una solución o mezcla mediante la vaporización, obteniendo un producto concentrado de los componentes no volátiles. Para los alimentos líquidos, la evaporación remueve la mayor parte del agua, resultando en un producto concentrado, que puede ser el producto final o una parte de un proceso” (pág. 297).

Esta importante operación unitaria es comúnmente utilizada para remover agua de un alimento disuelto en un líquido y obtener un líquido de mayor concentración. La remoción de agua tiene algunos beneficios como una estabilidad microbiológica, reduce los costos de transporte y costos de almacenamiento (Singh & Heldman, 2009, pág. 543)

La evaporación en la agroindustria panelera se da en dos tinajas y lleva el jugo desde una concentración de 24 °Bx hasta alrededor de los 80° Bx y desde los 94°C hasta alrededor de los 110°C, la disposición de las tinajas es horizontal y su calentamiento es en hornillas con flujo paralelo en las cuales el jugo pasa de tina en tina, desde la tina de clarificación se separa el proceso en lotes para las tinajas 3 y 4.

Para evaporar los jugos se calienta el jugo de caña a fuego directo producido en una cámara de combustión ubicada debajo de las tinajas, las temperaturas de los gases que calientan los jugos llegan hasta los 900°C, el calor se transfiere a los jugos a través de las tinajas, estas temperaturas afectan la calidad del producto final, ya que muchas veces las mieles se queman, alterando las propiedades nutricionales y organolépticas como el sabor, olor y color.

Tinas abiertas.

En esta operación unitaria se busca evaporar los jugos ya clarificados al llevarlos de los 20 – 25 °Bx hasta los 75 -85 °Bx, el balance de materiales en las tinas de evaporación abierta se lo realiza empleando las siguientes ecuaciones.

$$M = Jcl - W_1 \quad (5)$$

Dónde:

M: Miel
W₁: Agua evaporada

Y:

$$W_1 = \left(1 - \frac{Bx_o}{Bxf}\right) \quad (6)$$

Dónde:

M: Miel
Bx_o: Contenido de sólidos solubles inicial
Bxf: Contenido de sólidos solubles final

El balance de energía es el método empleado para conocer la necesidad de energía para realizar un proceso u operación unitaria, para el balance energético en las tinas de evaporación abierta para producción de panela e emplean las siguientes ecuaciones (Mendieta, Nieves, Valero, Chavez, & García, 2011):

Cantidad de calor necesario para evaporar el jugo de caña

$$Q = m \times Ce \times \Delta T \quad (7)$$

Dónde:

Q: Calor requerido
m: masa de jugo de caña
Ce: Calor específico del jugo de caña
 ΔT : Variación de temperatura

Hay que tomar en cuenta que por la concentración de sólidos en los jugos durante el proceso de evaporación, cambia el calor específico (C_p) del jugo de caña, al pasar de los 65°Bx.

Para la determinación del C_p del jugo de caña se utilizan las siguientes ecuaciones.

Cuando el jugo de caña tiene una concentración menor a 65 °Bx:

$$C_p = 1 - 0,0059 \times (^\circ Bx) \quad (10)$$

Cuando el jugo de caña tiene una concentración mayor a 65 °Bx:

$$C_p = 1 - 0,0069 \times (^\circ Bx) \quad (11)$$

1.3.5. Punteo

A la tina de concentración llegan las mieles producto de la evaporación del jugo de caña en las tinas 3 y 4, en esta tina se elevan las temperaturas de las mieles hasta temperaturas entre los 120 y 124 °C y concentraciones entre 90 y 94 °Bx, convirtiendo las mieles en jarabe de panela.

Como indica Osorio (2007), en su manual de buenas prácticas de manufactura el punteo de la panela es una de las etapas más importantes del proceso en la que se debe tener especial

cuidado para conservar la buena calidad de la panela, de este proceso final dependerá el color, sabor y aroma de la panela.

Entre los factores de proceso que afectan la calidad de la panela se encuentra uno muy importante que es la temperatura de punteo, existen muchas divergencias entre expertos acerca de cuál es el punto ideal para obtener panela de calidad.

Mujica, Guerra y Soto, (2008), en su estudio, Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada, llegaron a determinar que la variedad de caña resultó un factor importante para la calidad de la panela por su influencia en el pH, el color y el contenido de azúcares reductores, lavar la caña de azúcar previo a la molienda no tuvo un efecto significativo en la calidad de la panela, solo redujo en una pequeña proporción los azúcares reductores, finalmente la temperatura influyó en el color de la panela granulada.

El color en la panela tiene efectos en el mercado consumidor, existen consumidores que prefieren panela de colores dorados más claros y otros mercados que la prefieren oscura; como todo alimento las propiedades nutricionales se disminuyen al aumentar la temperatura de procesamiento. Es necesario realizar un estudio del punto de saturación óptimo de acuerdo a la altura y por ende a la presión atmosférica a la que se encuentra sometido el proceso.

En esta operación unitaria se busca concentrar la miel que se encuentra entre los 70 – 80 °Bx, hasta llevarla a los 90 – 94 °Bx, el balance de materiales en las tinajas de evaporación abierta se lo realiza empleando las siguientes ecuaciones.

$$Jp = M - W_2 \quad (12)$$

Dónde:

Jp: Jarabe de panela

En la cual:

$$W_2 = \left(1 - \frac{Bx_o}{Bxf}\right) \quad (13)$$

Para el balance de energía se emplean las mismas ecuaciones que en la evaporación.

1.3.6. Batido, enfriamiento y moldeo.

Cuando el jarabe de panela alcanza el punto de saturación deseado pasa a la tina de batido; el batido consiste en la agitación del jarabe para que este absorba aire del ambiente, se enfríe y permita una mejor manipulación. En las paneleras este proceso es manual, se emplean herramientas como: palas, agitadores especiales elaborados con madera o acero. No está determinado el tiempo de óptimo de batido, esta actividad tiene un conocimiento empírico, generalmente dura entre 5 y 10 minutos; el jarabe de panela llega a la tina de batido a temperaturas sobre los 115 °C y cuando pasa a los moldes generalmente tiene una temperatura menor a los 90°C (Mosquera & Villada, 2007).

En algunas plantas paneleras de Colombia este proceso se ha automatizado y se emplean agitadores de aspas o de espiral, que gira gracias a un motor eléctrico, el agitador se maneja entre 15 y 20 rpm; sin embargo, el tiempo de batido sigue basándose en el conocimiento empírico del operario (Mosquera & Villada, 2007).

1.3.7. Almacenamiento

Para el almacenamiento de panela es importante considerar algunos factores técnicos ya que es un alimento y su calidad puede degradarse por las condiciones en la que sea almacenada.

La panela es un producto con cualidades higroscópicas, lo cual significa que absorbe o pierde humedad por su exposición al ambiente; ello depende de las condiciones climáticas del medio y de la composición del producto (Osorio, 2007).

Existen muchas características que pueden variar y afectar la calidad del producto en relación al tiempo y las condiciones, pueden variar por ejemplo: El color, el pH, el contenido de azúcares reductores, la humedad, etc. (Chand, Verma, & Kumar, 2014)

En las agroindustrias paneleras en la actualidad no cuentan con las mejores condiciones para el almacenamiento, ya que se almacena el producto junto a la zona de producción, poniéndolas en contacto con vapores, plagas, y bacterias del ambiente, que ponen en riesgo la calidad del producto y por ende a los consumidores (Singh, Dubey, Tiwari, & Verma, 2009).

1.3.8. Generación de calor.

Para la evaporación del jugo de caña y su concentración la agroindustria panelera emplea tradicionalmente un sistema de hornillas donde se combustiona el bagazo de caña seco, calentando las tinas con los gases de combustión, se ha desarrollado algunos modelos a lo largo de los años, muchos que combustionan el mismo bagazo, leña, desechos de la industria maderera, combustibles fósiles, llantas, etc. (Velásquez, Janna, & Agudelo, 2006).

La mayoría de las actividades de producción se realizan dentro de esquemas de economía campesina en unidades de pequeña escala, con alto uso de mano de obra y bajos niveles de inversión en mejoras tecnológicas. Dado el problema de ineficiencia energética en muchos trapiches no basta con el bagazo producido y se emplea leña o llantas usadas como combustible adicional para suplir la demanda energética del proceso (Chejne, Agudelo, & Velásquez, 2004).

La preocupación por el agotamiento de los recursos y la contaminación ambiental, ha llevado a que diferentes instituciones realicen nuevos diseños de hornillas y procesos productivos con mayores eficiencias energéticas (Chejne, Agudelo, & Velásquez, 2004).

1.4. Diseño de plantas para procesamiento de alimentos

Diseñar en ingeniería es obtener la mejor combinación de los factores de producción: hombre, maquinaria y materiales, con el objetivo de conseguir la máxima economía en el trabajo, así como la seguridad y satisfacción de los trabajadores (Casp, 2005).

El *diseño* en ingeniería supone la búsqueda de soluciones innovadoras para satisfacer necesidades humanas por medio de la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos y con la máxima racionalidad en el consumo de recursos. Se trata de una actividad creadora, en la que a partir de conjuntos elementales y previa identificación de unas restricciones y condicionantes se llega, mediante combinaciones, a concretar y definir algo superior a la suma de las partes. Es ver, imaginar, lo que todavía no existe (Casp, 2005).

Según Maroulis & Saravacos (2003) “el propósito del diseño de plantas para procesamiento de alimentos es conocer las necesidades para una planta industrial por economía de producción de uno o más productos”.

El diseño y construcción de nuevas plantas de procesamiento de alimentos o la reingeniería de una ya existente es un raro evento en la mayoría de países en desarrollo, sin embargo es una industria que crece gradualmente y se hace necesaria la implementación de algunas herramientas y procesos para asegurar la efectividad de estas nuevas industrias (Peter, 2002)

El diseño de plantas determina el tamaño y tipo de equipos requeridos, las condiciones de operación, los objetivos específicos que cada uno realizará en procesos particulares. Los resultados del diseño de procesos se utilizan en la optimización de procesos particulares, en diseños ingenieriles detallados y la operación de una planta de procesos.

1.4.1. Planta piloto

Toda investigación de desarrollo industrial debe cumplir un proceso que lo lleve a convertirse en realidad, ya que un proyecto puede generarse de una nueva, necesidad, un descubrimiento en laboratorios, un nuevo producto, etc. En cualquier caso, las posibilidades del nuevo proceso han de evaluarse en función de los medios financieros, posición en el mercado y factibilidad técnica, existen compañías que toman estas decisiones a la ligera y otras que invierten grandes sumas y mucho en tiempo en el desarrollo de un nuevo producto o proceso dependiendo el resultado de lo complicado del proceso o el nivel de detalle que se desee alcanzar. Si la evaluación preliminar es favorable, se inician las investigaciones sobre el producto o proceso, cuando las

investigaciones del proceso han alcanzado un punto en el que se han establecido las condiciones y procedimientos de fabricación, se construye la planta piloto (Henley & Rosen, 1993).

El objetivo de una planta piloto es realizar investigación de los procesos para obtener datos ingenieriles ya sea para una ampliación del conocimiento de los fenómenos generales o desarrollar y mejorar los métodos para la fabricación de los productos, además, producir suficientes bienes para su evaluación comercial y desarrollo de las ventas, las plantas piloto son construidas con fines investigativos, por lo tanto estas deben tener un criterio modular que permita la adecuación del proceso de acuerdo a los fenómenos que se encuentren en el transcurso de la investigación y permitan adaptarla de acuerdo a los requerimientos (Henley & Rosen, 1993), (Palacios, Tapias, & Saldarriaga, 2005).

2.5.2. Diseño de procesos para la producción de alimentos

Muchos autores han desarrollado investigación en el diseño de procesos para la producción de alimentos y coinciden en algunas consideraciones básicas para diseñar un proceso, mismas que se citan a continuación.

Las propiedades de los alimentos o de sus ingredientes exigen parámetros críticos en el proceso utilizado en la manufactura de producto alimenticio. El diseño del proceso para producción de alimentos se crea para satisfacer una necesidad o dar solución a un problema y se debe basar en los parámetros de cada materia prima (Heldman, 2002)

El diseño de procesos para la producción de alimentos envuelve un número de consideraciones necesarias. Se deben conocer las propiedades físicas, químicas, térmicas, etc. de cada una de las materias que van a ser procesadas y cuál es el propósito de todas las

operaciones unitarias que van a intervenir en el proceso (Ahmed & Shafuir, 2012). Para poder llegar a un diseño del proceso adecuado es necesario seguir algunos pasos y autores como (Heldman & Hartel, 1999; Smith, 2002; Maroulis & Saravacos, 2003; Casp, 2005; Berk, 2009; Saravacos & Maroulis, 2011; Ahmed & Shafuir, 2012; Ibarz & Barbosa, 2014) coinciden que el primer paso es el desarrollo de los diagramas de flujo necesarios, luego el balance de materiales y energía, dimensionamiento de los equipos, y un diagrama esquemático o un modelamiento con los componentes de las operaciones unitarias.

Palacios, Tapias, & Saldarriaga (2005), indican que el diseño de un proceso es un arte inexacto siempre existirán dudas con respecto a errores y a una incertidumbre de acuerdo a la disponibilidad de datos, por todo esto es necesario generar un factor de seguridad y se aumenta un 10 % los flujos promedio en corrientes de proceso para darles flexibilidad en los flujos, este factor establecerá el flujo máximo para el diseño de equipos, tuberías e instrumentación.

2.5.3. Diagramas de flujo

Existen muchos tipos de diagramas de flujo que pueden ser utilizados para la correcta descripción de los procesos, se pueden utilizar los siguientes tipos de diagramas de proceso:

- Diagrama de bloque simplificado:

Es el más utilizado para el diseño de procesos nos permite tener entradas de materiales y salidas de materiales y nos da la facilidad para realizar balance de materia y energía.

- Diagrama de flujo de proceso

Este diagrama nos indica como más detalles los procesos usando símbolos específicos para los equipos, tuberías y otras utilidades.

1.5. Optimización y tecnificación de los procesos productivos.

“El procesamiento de alimentos se puede definir de diferentes maneras, como un método de conservación de los alimentos o como la conversión de diferentes componentes o ingredientes en un alimento que pueda ser consumido” (Heldman & Hartel, 1997, pág. 4)

Smith (2002), señala que el procesamiento de alimentos es la secuencia de operaciones unitarias que se aplican en las materias primas con el fin de producir un alimento biológicamente más estable, manufacturado, modificado y empaçado.

El procesamiento de alimentos es el conjunto de actividades con una secuencia específica, para un fin específico. El proceso de manufactura empieza con materiales crudos y termina con productos. Persiguiendo dos objetivos básicos que son la transformación y la conservación de alimentos. Las principales operaciones unitarias empleadas en el procesamiento de alimentos son: Balance de materiales y energía, fenómenos de transporte, propiedades fisicoquímicas, cinética de las reacciones químicas, seguridad e higiene de los alimentos, manipulación, empaque, almacenamiento y los puntos de control (Berk, 2009).

1.5.1. Procesos continuos o en lotes

En la industria alimenticia existen dos maneras de producir un alimento; por lotes, de manera continua o sistema mixto, se escogen de acuerdo a las características de las materias primas, el tiempo de producción, el costo y las operaciones unitarias necesarias para la producción del alimento.

Proceso por lotes

Berk (2009), señala que en los procesos en lotes una parte de materiales a ser procesados es separado de la masa general y tratados por separado. Las condiciones como la temperatura, presión, composición, etc. usualmente varían durante el proceso. La producción en lotes cada uno tiene una duración definida y antes de que el primer lote finalice el proceso el otro puede estar comenzando con una nueva porción de material. El procesamiento en lotes generalmente requiere menor capital; sin embargo, el costo de operación resulta ser más elevado al igual que los equipos.

(Ibarz & Barbosa, 2014) Cuando los materiales crudos son divididos en operaciones discontinuas y los productos finales son obtenidos a diferentes tiempos, se llama a este proceso en lotes o intermitente, y acarrea los siguientes pasos:

1. Carga de equipos con los materiales crudos.
2. Preparación de las condiciones de transformación.
3. Transformación requerida.
4. Descarga de productos.
5. Limpieza de equipos.

Proceso continuo

El proceso continuo es aquel que los materiales en proceso no son separados sino que se procesan todos en un solo lote, es ideal para operaciones relativamente estables en la que no se necesitan cambios de condiciones físicas o químicas drásticas, estos procesos generalmente toman más tiempo que los procesos en lotes, y el arranque del proceso resulta dificultoso en comparación con el proceso en lotes sin embargo detener el proceso resulta mucho más fácil. Los costos de operación resultan bajos y existe una mejor utilización de la capacidad de producción (Berk, 2009; Ibarz & Barbosa, 2014).

Procesos mixtos o semicontinuos

Las propiedades de los alimentos muchas veces hacen necesario el acoplamiento del sistema continuo y el de lotes, por lo tanto los procesos mixtos o semicontinuos son un acoplamiento de los dos sistemas anteriores con los beneficios y desventajas de cada uno, el uso de uno de ellos dependerá de las necesidades del proceso.

2.5.4. Balance de materiales y energía

Realizar el balance de materiales y energía nos permitirá determinar el consumo de energía necesaria para procesar la materia prima disponible, las pérdidas generadas, los rendimientos siendo la parte fundamental para el diseño de una planta de procesamiento de alimentos.

2.5.5. Dimensionamiento y selección de equipos.

Los diseños de procesos para producción de azúcar alrededor del mundo son muy variados y existen muchas formas que funcionan con el mismo principio, sin embargo, aquel que no esté correctamente dimensionado y seleccionado no tendrá ningún resultado, la caña de azúcar es una de las plantas más nobles de la humanidad pero el procesamiento de sus jugos requiere un especial cuidado para obtener buenos resultados (Hugot, 1986).

Una vez determinada la viabilidad económica e inversión óptima, habrá que decidir que equipos serán admitidos en el programa previsto, aunque normalmente los equipos críticos de una planta son conocidos, puede ser conveniente realizar una ponderación de la significación funcional de los mismos atendiendo a su importancia en el proceso productivo, su repercusión económica, aquellos cuyo fallo supone una parada de la

instalación, una disminución de su capacidad productiva, una merma de calidad o un peligro inminente de ello (Gómez, 1998).

Capítulo III. Materiales y Métodos

3.1. Materiales, equipos e insumos.

Para poder llevar a cabo el diagnóstico en las agroindustrias paneleras se han empleado:

Tabla 2. Materiales y equipos

Nro.	EQUIPO	RANGO DE CONTROL
1	REFRACTÓMETRO	10 – 30 °Bx
2	REFRACTÓMETRO	40 – 98°Bx
3	MEDIDOR DE pH	0.0 - 14
4	BÁSCULA	0.00 – 30 kg (exactitud de 1g)
5	TERMÓMETRO INFRARROJO	-100°C – 1000°C
6	TERMÓMETRO DE SONDA	-50 °C – 200°C
7	TERMÓMETRO AMBIENTAL	-20 °C – 50 °C
8	BARÓMETRO DIGITAL	0 – 100%
9	METRO	5 metros
10	RECIPIENTES:	Jarras graduadas de diferentes volúmenes - 1 lt - 10 lt - 30 lt
11	FUNDAS PLÁSTICAS	Varios tamaños
12	GPS GARMIN	Exactitud de localización ±5m
13	CÁMARA FOTOGRÁFICA	16 Mp

Nota Fuente: Materiales y equipos empleados para llevar a cabo el diagnóstico de las plantas paneleras de Imbabura.

3.2. Métodos

La presente investigación de campo, se llevó a cabo en las agroindustrias paneleras de la provincia de Imbabura, en los cantones de Ibarra y Urcuquí. Para recoger la información del diagnóstico se utilizaron una serie de entrevistas a los operarios y dueños de las paneleras, además del uso de los instrumentos de medición del proceso.

Capítulo IV. Diagnóstico

4.1. Antecedentes diagnósticos

La agroindustria panelera en Ecuador no ha variado de manera sustancial la forma de producción desde sus inicios hasta la actualidad, lo que provoca que este producto se encuentre desvalorizado en el país, por muchas razones, entre ellas los métodos de producción sin ningún control técnico y por ende la baja calidad de la panela.

El siguiente diagnóstico se ha realizado en la provincia de Imbabura, en los cantones de Ibarra y Urcuquí, donde se encuentran las agroindustrias paneleras más representativas de la provincia, con el objetivo de determinar la situación actual de éstas, principalmente desde el punto de vista tecnológico; el levantamiento de información, a pesar de la predisposición de los productores y el apoyo brindado tuvo complicaciones, la falta de control de los materiales en proceso, el desconocimiento de condiciones básicas de procesamiento, la variabilidad de los lotes, el cambio de personal y el control empírico de los procesos son algunas de las dificultades encontradas.

En la actualidad es necesario que las industrias de producción de alimentos cumplan con las exigencias del mercado consumidor, es decir que los alimentos sean producidos adecuadamente, así como también cumpliendo las normativas existentes, tanto de

infraestructura, equipos fabricados con materiales permitidos, control de los parámetros de producción, inocuidad alimentaria, control de la calidad de materias primas, BPM's, normas INEN, HACCP, etc., con la finalidad de producir un alimento apto para el consumo humano, además, el interés del productor de que el proceso productivo sea eficiente y genere los beneficios suficientes para que la empresa sea rentable. La exportación es un camino abierto para la panela; sin embargo, los productores requieren estar en un nivel tecnológico y productivo que permita competir en estos mercados de alta demanda.

4.2. Objetivos diagnósticos

Objetivo general

Sintetizar información técnica del proceso de producción de panela en las agroindustrias paneleras de Imbabura.

Objetivos específicos

- Sistematizar información técnica del sistema de molienda de la caña de azúcar.
- Sistematizar información técnica del proceso de evaporación y concentración del jugo de caña.
- Sistematizar información técnica de los procesos de batido, moldeo, empaque y almacenamiento de la panela.
- Sistematizar información técnica del sistema de generación de calor.

4.3. Variables diagnósticas

En el presente estudio, se tomaron en cuenta nueve variables, las cuales se describen a continuación:

1. Molienda.
2. Limpieza.
3. Evaporación.
4. Concentración.
5. Batido.
6. Moldeo.
7. Empaque.
8. Almacenamiento.
9. Generación de calor.

4.4. Indicadores

Para cada una de las variables de estudio, se definieron los correspondientes indicadores:

1. Para la variable molienda, los indicadores son:
 - a) Capacidad de extracción de jugo.
 - b) Capacidad de extracción de sólidos solubles.
2. Para la variable limpieza, los indicadores son:
 - a) Pre limpieza.
 - b) Pre calentamiento.
 - c) Clarificación.
3. Para la variable evaporación, el indicador es:
 - a) Tinas.
 - b) Registros de controles técnicos.
4. Para la variable concentración, el indicador es:
 - a) Temperatura de ebullición.
 - b) Punto de saturación del jarabe.
5. Para la variable batido, el indicador es:
 - a) Método de batido.
 - b) Material de la tina.
 - c) Material de agitadores.
 - d) Riesgo de contaminación.

6. Para la variable moldeo, los indicadores son:
 - a) Método de moldeo.
 - b) Material de los moldes.
 - c) Pérdidas en el moldeo.
 - d) Riesgo de contaminación.
7. Para la variable empaque, los indicadores son:
 - a) Método de empaque.
 - b) Temperatura de empaque.
 - c) Tipo de empaque.
 - d) Riesgo de contaminación.
8. Para la variable almacenamiento, los indicadores son:
 - a) Ubicación del almacenamiento.
 - b) Condiciones de almacenamiento.
 - c) Control de plagas.
 - d) Riesgo de contaminación.
9. Para la variable generación de calor, los indicadores son:
 - a) Método de operación de la cámara de combustión.
 - b) Combustible.
 - c) Registro de controles técnicos.

4.5. Matriz de relación

De la conjunción de variables e indicadores, se estableció la siguiente matriz de relación diagnóstica

Tabla 3. Matriz de relación

Variable	Indicador	Técnica	Fuente de información
Molienda	a) Capacidad de extracción de jugo. b) Capacidad de extracción de sólidos.	Medición instrumental	Plantas paneleras
Limpieza	a) Pre limpieza. b) Pre calentamiento c) Clarificación.	Medición instrumental Encuesta	Plantas paneleras
Evaporación	a) Tinas. b) Registros de controles técnicos.	Medición instrumental Encuesta	Plantas paneleras
Concentración	a) Temperatura de ebullición. b) Punto de saturación del jarabe.	Medición instrumental	Plantas paneleras
Batido	a) Método de batido. b) Material de la tina. c) Material de agitadores. d) Riesgo de contaminación.	Observación Encuestas	Plantas paneleras

Moldeo	<ul style="list-style-type: none"> e) Método de moldeo. f) Material de los moldes. g) Pérdidas en el moldeo. h) Riesgo de contaminación. 	<p>Observación</p> <p>Medición instrumental</p>	Plantas paneleras
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> e) Método de empaque. f) Temperatura de empaque. g) Tipo de empaque. h) Riesgo de contaminación. 	<p>Observación</p> <p>Medición instrumental</p>	Plantas paneleras
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> e) Ubicación del almacenamiento. f) Condiciones de almacenamiento. g) Control de plagas. h) Riesgo de contaminación. 	<p>Observación</p> <p>Encuestas</p>	Plantas paneleras
Generación de calor	<ul style="list-style-type: none"> a) Método de operación de la cámara de combustión. b) Combustible. c) Registro de controles técnicos. 	<p>Observación</p> <p>Encuestas</p>	Plantas paneleras

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Identificación de variables y sus correspondientes indicadores para el desarrollo del diagnóstico en las agroindustrias paneleras de los cantones Ibarra y Urcuquí de la provincia de Imbabura, tabla elaborada por el autor (para disertación de pregrado).

4.6. Mecánica operativa

4.6.1. Identificación de la población

Para el mes de octubre de año dos mil catorce, tras realizar un mapeo y contactar a los diferentes productores de panela, se obtuvo la siguiente matriz de paneleros que para la fecha antes mencionada sus agroindustrias están en funcionamiento y por lo tanto se convertirían en la población de estudio.

Se puede observar que entre las paneleras identificadas se encuentran solo productores de los cantones Ibarra y Urcuquí, a pesar de que existen productores también de la zona de Intag del cantón Cotacachi y en la zona de Lita del cantón Ibarra; según información obtenida por parte de la Asociación de Productores de Panela del Norte, pero tras el contacto con los productores de esta zona, pudo establecerse que no se encontraban en producción durante el período de estudio, por lo que no fueron incluidos.

Tabla 4: Productores de panela de los cantones Ibarra y Urcuquí de la provincia de Imbabura identificados

Identificación de la planta	Nombre	Cantón	Ubicación	Coordenadas de la planta	
				Latitud	Longitud
1	Antonio Montalvo	Ibarra	Imbaya	0°22'49"	78° 51'2"
2	Mesías Yépez	Urcuquí	Monjas	0°22'40"	78°49'58"
3	Fredy Gordillo	Urcuquí	Santa Ana -Yachay	0°23'56.79"	78° 8'35.06"
4	Gustavo Montalvo	Urcuquí	Salinas-La Unión	0°28'41.11"	78° 8'41.11"
5	Marco Montalvo	Ibarra	Salinas-San Luis	0°29'39.79"	78°10'6.16"
6	Hermógenes Castillo	Urcuquí	San Luis	0°30'27.31"	78° 9'1.25"

Nota Fuente: Pita, H L A (2015). Productores de panela de la provincia de Imbabura identificados y diagnosticados hasta el 23 de noviembre del 2014, tabla elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

4.6.2. Identificación de la muestra

El estudio diagnóstico se realizó a través de un censo de todas las paneleras identificadas de los cantones Ibarra y Urcuquí.

4.6.3. Información primaria

Utilizando la metodología desarrollada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico ([OCDE], Manual de Frascati, 2003), ([OCDE], Manual de Oslo, 2006) y (Posso, 2011) para el levantamiento de información de actividades de ciencia y tecnología se ha diseñado y aplicado una encuesta y fichas técnicas para el levantamiento de información; la encuesta se ha aplicado directamente a los empresarios paneleros los cuales han mostrado gran apertura y brindado todo el apoyo y la información que se ha solicitado, además, han permitido el levantamiento de la información en las fichas técnicas, los operarios de las plantas han brindado el apoyo para la toma de muestras y las mediciones correspondientes, para poder levantar la información se ha utilizado diferentes equipos como han sido: una báscula, un termómetro infrarrojo, un refractómetro, un cronometro, un GPS y otros equipos para toma de muestras y mediciones de volúmenes y tamaños, el tiempo promedio que ha tomado diagnosticar cada planta panelera ha sido de 12 horas.

4.7. Tabulación y análisis de información

Los resultados diagnósticos que se presentan a continuación, conllevan al análisis situacional de la calidad del proceso de producción panelera en Imbabura, del cual se establecen fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades, las cuales se resumen en una matriz.

En el estudio diagnóstico se recogió información de seis plantas paneleras de la provincia, atendiendo a las variables e indicadores identificados. De ello, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.7.1. Variable: Molienda.

Para esta variable, se obtuvieron resultados en los indicadores correspondientes, los cuales se expresan en las Tablas No. 5 y No. 6:

Tabla 5. Indicador: Capacidad de extracción de jugo.

Planta	Kg/h de caña molidas	Kg/h de jugo de caña extraído	Capacidad de extracción de jugo (%)
1	995,8	655,7	65,85
2	1301,4	720,0	55,32
3	996,7	611,2	61,32
4	1272,6	829,5	65,18
5	936,6	654,6	69,88
6	973,2	566,9	58,26

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Capacidades de extracción de jugo de caña de cada planta panelera evaluada, tabla elaborada por el autor mediante fichas técnicas de levantamiento de información (para disertación de pregrado).

Análisis:

Los datos obtenidos demuestran que la capacidad de extracción de jugo se encuentra en rangos entre el 50 y el 70%. Investigaciones como Pérez (2014), Guamán, Guamán, & Villaviciencio, (2015) y Osorio (2007), Quezada (2006), Delden (2013), expresan que aunque estos datos son los encontrados en las plantas paneleras, la capacidad de extracción podría ascender hasta el 85%, aplicando mejores niveles de tecnificación del proceso.

Tabla 6. Indicador: Capacidad de extracción de sólidos.

Planta	Caña de azúcar			Jugo de caña			Bagazo	Capacidad de extracción de sólidos (%)	Pérdidas de sólidos (%)
	Kg/h de caña	Brix de la caña	Sólidos solubles en la caña(kg)	Kg/h de jugo de caña extraído	Brix del jugo de	Sólidos solubles en el jugo (kg)	Sólidos solubles en el bagazo (kg)		
1	995,8	23	229,03	655,7	20	131,14	97,89	57,3	42,7
2	1301,4	20,2	262,88	720	19	136,8	126,08	52	48
3	996,7	24,3	242,2	611,2	23	140,58	101,62	58	42
4	1272,6	21	267,25	829,5	20	165,9	101,35	62,1	37,9
5	936,6	21,4	200,43	654,6	18	117,83	82,6	58,8	41,2
6	973,2	22,5	218,97	566,9	20	113,38	105,59	51,8	48,2

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Capacidad de extracción de sólidos de la caña de azúcar en cada una de las plantas paneleras, tabla elaborada por el autor mediante fichas técnicas de levantamiento de información (para disertación de pregrado)

Análisis:

La eficiencia en la extracción de sólidos solubles está relacionada directamente con la productividad de la empresa panelera. Los datos expresados en la Tabla No.5 reflejan que en la fase inicial del proceso de producción ya existe una pérdida del 40%. La baja presión

de los trapiches, el desgaste de las masas y la velocidad de molienda de los trapiches no controlada, son algunos de los factores que inciden en tener pérdidas mayores al 40%. Según Sotomayor (2004), un 15% de pérdidas de sólidos solubles es un porcentaje razonable, que se puede alcanzar con la aplicación de controles técnicos en la extracción. En su estudio diagnóstica un 21% de pérdidas de sólidos por arrastre en el bagazo durante el proceso de extracción de jugo de caña.

Investigaciones como la de Londoño (2014) demuestran el interés de la industria azucarera por extraer la mayor cantidad de sacarosa posible. En su estudio “*La tensión superficial del agua como variable en la extracción de azúcar residual de caña*”, busca extraer la más ínfima cantidad de sacarosa residual en el bagazo de la caña, tratando de disminuir el 10% de pérdidas por arrastre de sacarosa en el bagazo.

Para poder determinar la capacidad de extracción de sólidos solubles se ha desarrollado la siguiente ecuación:

$$\%ss = \frac{\frac{Pj \times \text{°Bxj}}{100}}{\frac{Pc \times \text{°Bxc}}{100}} \times 100$$

Donde:

%ss: capacidad de extracción de sólidos solubles

Pj: Peso del jugo

°Bxj: Sólidos solubles del jugo

Pc: peso de la caña

°Bxc: Sólidos solubles de la caña

4.7.2. Variable: Limpieza

Para la variable limpieza, se tuvieron en cuenta tres indicadores: pre limpieza, precalentamiento y clarificación. Los resultados obtenidos en la prelimpieza se expresan en la Tabla No. 7:

Tabla 7: Indicador prelimpieza.

Planta	Uso de Filtros	Tipo de filtros	Cantidad de filtros
1	No	_____	0
2	Si	decantación	1
3	Si	decantación	1
4	Si	decantación	1
5	Si	decantación	1
6	No	_____	0

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Encuesta realizada a los productores paneleros y constatados por observación en cada una de las plantas paneleras, (para disertación de pregrado).

Análisis:

De las seis plantas paneleras del estudio, 2 de ellas no utilizan filtros en la fase de prelimpieza, lo que representa un 33%. Además de lo anterior, a través de las encuestas aplicadas, se obtuvo como información que durante las jornadas de trabajo no se realizan limpiezas periódicas del prelimpiador, lo cual tiene como consecuencia que se sature de bagacillos y lodo, perdiendo su funcionalidad.

Los prelimpiadores son construidos con acero, material que genera contaminación y degradación del jugo.

Luego del proceso de pre limpieza, se realiza el proceso de

Tabla 8. Indicador: precalentamiento

Planta	Volumen prom. l/h	Temp. del jugo (°C)	°Bx	Material	Tipo de tinas
1	1,660	74	20	Acero	Evaporación abierta
2	1,930	69	21	Acero	Evaporación abierta
3	2,100	82	22	Acero inoxidable	Evaporación abierta
4	1,840	75	21	Acero	Evaporación abierta
5	2,000	78	19	Acero	Evaporación abierta
6	1,550	80	20	Acero	Evaporación abierta

Nota fuente: Pita, L (2015). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

Según los datos levantados, en promedio las paneleras de Imbabura procesan 1850 l/h de jugo de caña. Según Villalba (2000), los trapiches paneleros rurales procesan entre 1000 y 1500 litros de jugo de caña por hora, lo que nos indica que la capacidad de procesamiento se encuentra acorde al promedio. Sin embargo; el hecho de utilizar tinas abiertas, conduce a una contaminación durante el proceso.

El último indicador correspondiente a la limpieza, es la clarificación. Los datos se expresan en la Tabla No. 9:

Tabla 9 . Indicador: Clarificación (características de la tina)

Planta	Volumen prom. l/h	Temperatura del jugo (°C)	°Bx	Material	Tipo de tinas
1	1,230	94	25	acero	Evaporación abierta
2	1,350	96	23	acero	Evaporación abierta

3	1,480	98	24	Acero inoxidable	Evaporación abierta
4	1,140	94	23	acero	Evaporación abierta
5	1,420	96	21	acero	Evaporación abierta
6	1,000	93	22	acero	Evaporación abierta

Tabla 10. Indicador: Clarificación (operación)

Planta	Agente clarificador	Temperatura de adición del mucílago	l/h de cachaza extraída	% cachaza extraída
1	Yausabara	94	33	5,03
2	Yausabara	96	35	4,86
3	Yausabara	98	33	5,40
4	Yausabara	94	45	5,42
5	Yausabara	96	36	5,50
6	Yausabara	93	28	4,94

Nota fuente: Pita, L (2015). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

En las plantas paneleras diagnosticadas para la clarificación de los jugos se emplea mucílago de yausabara, el mucílago se extrae mediante la molienda de la planta (tallos, hojas, flores) a través del trapiche de caña, luego se coloca la yausabara molida en agua para la formación del mucílago. No se tienen establecidos parámetros técnicos para la elaboración del mucílago.

El mucílago elaborado es adicionado a los jugos cuando llega a temperatura de ebullición, la dosificación de mucílago depende de la experiencia del operario, no existen muchos estudios acerca de la clarificación del jugo de caña para la producción de panela, sin embargo, los operarios indican que la adición de demasiado mucílago a los jugos cambia el

color de la panela dándole tonos verdosos, en caso de no adicionar suficiente mucílago nos indican que se dificulta la solidificación de la panela y le da tonos oscuros; los operarios determinan la dosis adecuada tras breves ensayos de prueba y error en los primeros lotes de panela que producen.

Según Quezada W. (2014), luego de un estudio de 14 plantas mucilaginosas que son empleadas normalmente en la clarificación de jugo de caña, la yausabara resulta ser la que mejores resultados obtuvo, el jugo de caña luego de la aplicación del mucílago de caña reduce los valores de turbidez de los 80 NTU a menos de 50 NTU.

La aplicación de yausabara como agente clarificador es buena, al ser el mejor agente clarificador; sin embargo, es necesario determinar técnicamente las propiedades que debe tener el agente clarificador, es decir, determinar la concentración mucilaginosa óptima, las dosis de mucílago que deben añadirse a los jugos, el manejo que se debe dar al clarificante, etc.

Muchos autores señalan que la temperatura de aplicación del mucílago debe ser entre los 50 y 70°C, Quezada W. (2014), concluye que como resultado de su estudio sobre la eficiencia de plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de caña, la temperatura a la que se obtienen mejores resultados es a temperatura de ebullición del jugo, es decir entre los 93 y 96 °C, por lo tanto la temperatura a la que se está aplicando el agente clarificante es la mejor.

Según Guamán y Guamán (2010), pérdidas de entre el 3 y 5% correspondientes a la extracción de cachaza resultan normales, valores que son corroborados por Santamaría (2012), y Quezada F. (2006). Los valores obtenidos en la tabla 9 de clarificación señalan

pérdidas de entre el 4 y el 6% por lo que las pérdidas en esta operación están dentro de los rangos normales de una planta panelera artesanal.

4.7.3. Variable: Evaporación.

Para la variable evaporación, se midieron tres indicadores. Los resultados obtenidos para los indicadores tinas y registro de controles técnicos, se registran en la Tabla No. 11:

Tabla 11. Indicadores: tinas y registro de controles técnicos.

Planta	Volumen promedio (m ³)	Temperatura del jugo (°C)	°Bx	Registro de controles técnicos	Material	Tipo de tinas
1	0,2705	107	79	No	acero	Evaporación abierta
2	0,4080	108	80	No	acero	Evaporación abierta
3	0,2480	106	76	No	acero inoxidable	Evaporación abierta
4	0,4446	108	80	No	acero	Evaporación abierta
5	0,3807	108	80	No	acero	Evaporación abierta

6	0,2560	106,5	76	No	acero	Evaporación abierta
---	--------	-------	----	----	-------	------------------------

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

En todas las plantas paneleras, las tinajas utilizadas son hechas de acero y de evaporación abierta, lo cual produce contaminación en el proceso. A esto se añade la ausencia de controles técnicos tanto en el volumen promedio como en la temperatura. Esto implica que no pueda medirse la efectividad del proceso de evaporación.

4.7.4. Variable: Concentración.

Para la variable concentración, se midieron dos indicadores: temperatura de ebullición y punto de saturación del jarabe. Los resultados obtenidos se expresan en la Tabla No. 12:

Tabla 12. Temperatura de ebullición y punto de saturación.

Planta	Volumen promedio(m ³)	Temperatura de ebullición (oC)	Punto de saturación °Bx	Registro de controles técnicos	Materia l	Tipo de tinajas
1	0,2394	122	92	No	acero	Evaporación abierta
2	0,3024	120	91	No	acero	Evaporación abierta
3	0,2480	120	92	No	acero inoxidable	Evaporación abierta
4	0,2980	124	94	No	acero	Evaporación abierta

5	0,3135	123	93	No	acero	Evaporación abierta
6	0,2728	120	91	No	acero	Evaporación abierta

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

En ninguno de los casos investigados se realizan controles técnicos sobre la temperatura de ebullición y el punto de saturación, de manera que el manejo de estos datos se hace de forma empírica y basada en el ensayo y error.

4.7.5. Variable: Batido

Para la variable batido, se registraron datos del método, el material de la tina y los agitadores y el riesgo de contaminación. Los resultados obtenidos se expresan en la Tabla No. 13:

Tabla 13. Indicador batido

Planta	Sistema	Material de la tina	Agitadores	Riesgo de contaminación	Personal requerido	T de batido(°C)
1	manual	madera	acero y madera	alta	2	122-95
2	manual	acero inoxidable	acero y madera	alta	2	120-94
3	manual	acero inoxidable	acero y madera	alta	2	120-90
4	manual	acero	acero y madera	alta	2	124-94
5	manual	madera	acero y madera	alta	2	123-92
6	manual	madera	acero y madera	alta	2	120-90

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

Este es uno de los procesos en los que mayor cuidado se debe tener en cuanto al riesgo de contaminación que tiene la panela, en ninguna de las fábricas diagnosticadas se tiene un control de los parámetros mínimos para la realización de esta operación unitaria, los materiales empleados no son los adecuados para procesamiento de alimentos, tanto los recipientes como los agitadores, siendo el acero y la madera los principales elementos empleados; las adecuaciones de infraestructura para realizar esta operación son inexistentes en todas las paneleras.

4.7.6. Variable: Moldeo.

Para la variable moldeo, se obtuvieron datos referentes al método de moldeo, material de los moldes, pérdidas en el moldeo y riesgo de contaminación. Los datos se expresan en la Tabla No. 14:

Tabla 14: Indicadores del moldeo.

Planta	sistema	material de los moldes	Riesgo de contaminación	T de moldeo
1	manual	madera	Alta	95-67
2	manual	madera	Alta	94-56
3	manual	madera	Alta	90-60
4	manual	madera	Alta	94-59
5	manual	madera	Alta	92-59
6	manual	madera	Alta	90-55

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

El moldeo es otro proceso importante en la elaboración de panela. En este proceso la panela se enfría y se vuelve más vulnerable a contaminación, las condiciones en las que se está llevando a cabo esta operación no son las más apropiadas desde la infraestructura, la limpieza de los moldes, la manipulación de la panela y los controles de producción que son inexistentes.

4.7.7. Variable: Empaque.

Para la variable empaque, se procedió a observar y medir los datos referentes al método de empaque, temperatura de empaque, tipo de empaque y riesgo de contaminación. Los resultados se expresan en la Tabla No.15:

Tabla 15. Indicadores del empaque.

Planta	T de empaque	Tipo de empaque	Riesgo de contaminación	Personal requerido
1	67	costales de polietileno	alta	1
2	56	costales de polietileno	alta	1
3	60	cajas de cartón	alta	1
4	59	costales de polietileno	alta	1
5	59	costales de polietileno	alta	1
6	55	costales de polietileno	alta	1

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

Este proceso se lleva a cabo luego de que la panela sale de los moldes, los empaques en los que se coloca la panela no son los más adecuados y no brindan las condiciones adecuadas para prevenir pérdidas así como tampoco para prevenir la contaminación del producto, no

existe un control de la producción ni de las pérdidas que se generan en ese proceso, no se maneja un registro por lotes, no se controla las temperaturas de empaque, no se realiza un control de calidad ni tampoco se controla la manipulación que se da a la panela por empacar ni tampoco empacada; siendo otro factor más que indica la baja tecnificación en la agroindustria panelera de Imbabura.

4.7.8. Variable: Almacenamiento.

Para la variable almacenamiento se evidenció la ubicación y condiciones del almacenamiento, el control de plagas y el riesgo de contaminación. Los datos obtenidos se expresan en la Tabla No. 16:

Tabla 16. Indicadores del almacenamiento

Plan ta	T ambiente	Ubicación en la planta	Condicio nes	Humed ad	Control de plagas	Riesgo de contaminación
1	24	junto a la zona de producción	malas	60%	No	alto
2	28	junto a la zona de producción	malas	58%	No	alto
3	31	junto a la zona de producción	malas	54%	No	alto
4	31	junto a la zona de producción	malas	54%	No	alto
5	32	junto a la zona de producción	malas	51%	No	alto
6	31	junto a la zona de producción	malas	54%	No	alto

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada una de las plantas paneleras de Imbabura, (para disertación de pregrado).

Análisis:

Las condiciones de almacenamiento de la panela no son las más adecuadas ya que están junto a la zona de producción sin un cuidado especial a los parámetros de almacenamiento,

no se realiza un control de plagas, la exposición de la panela al vapor de agua que sale de las tinas de evaporación y concentración disminuyen su vida útil; la baja calidad de los empaque sumada a las condiciones de almacenamiento, la humedad y las plagas son factores de alta importancia que al no ser controlados degradan la calidad del producto y por ende su valor en el mercado.

4.7.9. Variable: Generación de calor.

Para la variable generación de calor, se investigó el método de operación de la cámara de combustión, el combustible y el registro de controles técnicos. Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla No. 17:

Tabla 17. Indicadores de la generación de calor

Planta	Combustible	T en la boca (°C)	T en la chimenea (°C)	Control de temperaturas	Personal requerido
1	Bagazo	718	276	No	1
2	Bagazo	748	205	No	1
3	Bagazo	767	256	No	1
4	Bagazo, aceite quemado	831	155	No	1
5	Bagazo	765	178	No	1
6	Bagazo	730	249	No	1

Nota fuente: Pita, H L A (2014). Información levantada mediante fichas técnicas en cada planta panelera, (para disertación de pregrado).

Análisis:

Este proceso es muy importante para la producción y la productividad de una agroindustria panelera, de este depende el tiempo que le tome al proceso, y por ende la producción de panela al día, en las paneleras diagnosticadas los hornos son construidos empíricamente con gran técnica pero sin tecnología, en los hornos se combustiona bagazo de caña secado

al sol por una persona que maneja el mismo empíricamente con el parámetro de la experiencia. En este proceso no existe un control en la humedad del bagazo ni en la cantidad de bagazo que va a ser combustionado, tampoco se controlan las temperaturas, ni los desperdicios de energía calórica. Esto genera la imposibilidad de realizar un balance energético y un balance de materiales en el horno; además, cuando la humedad del bagazo no es la óptima ya sea porque en el proceso de extracción hubo demasiado arrastre de jugo de caña, las condiciones climáticas no permitieron que el bagazo seque, el productor se ve obligado a usar combustibles fósiles de bajo costo como el aceite quemado para que la producción se mantenga estable, generando costos adicionales, contaminación ambiental, desgaste de las tinas, etc.

como lo indica Velásquez, Janna, & Agudelo, (2006) en su estudio: “Diagnóstico exergético de los procesos productivos de panela en Colombia” en el cual se determina que *la eficiencia térmica de las hornillas oscila entre el 15 y 30%, las pérdidas por chimenea son del 70 al 90%, la temperatura de salida de los gases de combustión está entre 450 y 700 °C, los porcentajes de exceso de aire son menores del 20% o mayores del 100%, la formación de CO alcanza un valor promedio de 10% y las pérdida por las paredes son del 7% .* Lo cual resulta evidente al analizar el producto final, que muchas veces se quema.

4.8. Balance de materiales.

En la Tabla Nro. 18 se ha definido el balance de materiales para cada una de las plantas paneleras diagnosticadas.

Posteriormente se presentan las Tablas 19 y 20, en las cuales se ha sintetizado los resultados del balance de materiales para facilitar su análisis.

Tabla 18. BALANCE DE MATERIALES

OPERACIÓN UNITARIA	DETALLE	UNIDAD	1	2	3	4	5	6
MOLIENDA	MATERIA PRIMA	kg	995,80	1301,44	996,72	1272,60	936,64	973,18
	JUGO EXTRAÍDO	kg	655,73	720,00	611,20	829,50	654,55	566,93
	BAGAZO PRODUCIDO	kg	340,07	581,44	385,52	443,10	282,09	406,25
	CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN DE JUGO	%	65,85	55,32	61,32	65,18	69,88	58,26
	SOLIDOS SOLUBLES EN LA MATERIA PRIMA	kg	229,03	262,89	242,20	267,25	200,44	218,97
	SOLIDOS EN EL JUGO CAÑA	kg	131,15	136,80	140,58	165,90	117,82	113,39
	PERDIDA DE SÓLIDOS EN LA EXTRACCIÓN	kg	97,89	126,09	101,63	101,35	82,62	105,58
	CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN DE SÓLIDOS	%	57,26	52,04	58,04	62,08	58,78	51,78
	PERDIDAS DE SÓLIDOS EN LA EXTRACCIÓN	%	42,74	47,96	41,96	37,92	41,22	48,22
LIMPIEZA	JUGO CRUDO	kg	655,73	720,00	611,20	829,50	654,55	566,93
	JUGO DESCACHAZADO	kg	622,73	685,00	578,20	784,50	618,55	538,93
	CACHAZA EXTRAÍDA	kg	33,00	35,00	33,00	45,00	36,00	28,00
	PERDIDAS POR CACHAZA EXTRAÍDA	%	5,03	4,86	5,40	5,42	5,50	4,94
	SOLIDOS EN EL JUGO CRUDO	kg	131,15	136,80	140,58	165,90	117,82	113,39
	SOLIDOS DEL JUGO LIMPIO	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
	SÓLIDOS PERDIDOS EN LA CACHAZA NEGRA	kg	6,60	6,65	7,59	9,00	6,48	5,60
	PERDIDAS DE SÓLIDOS EN EL DESCACHAZADO	%	5,03	4,86	5,40	5,42	5,50	4,94
CLARIFICACIÓN	JUGO DESCACHAZADO	kg	622,73	685,00	578,20	784,50	618,55	538,93
	JUGO CLARIFICADO	kg	498,18	565,87	554,11	682,17	530,19	489,94
	AGUA EVAPORADA	kg	124,55	119,13	24,09	102,33	88,36	48,99
	PROPORCIÓN DE AGUA EVAPORADA	%	20,00	17,39	4,17	13,04	14,29	9,09
	SOLIDOS DEL JUGO LIMPIO	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79

	SOLIDOS DEL JUGO CLARIFICADO	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
EVAPORACIÓN	JUGO CLARIFICADO	kg	498,18	565,87	554,11	682,17	530,19	489,94
	MIEL	kg	157,65	162,69	174,98	196,13	139,17	141,82
	AGUA EVAPORADA	kg	340,53	403,18	379,13	486,05	391,01	348,11
	PROPORCIÓN DE AGUA EVAPORADA	%	68,35	71,25	68,42	71,25	73,75	71,05
	SOLIDOS DEL JUGO CLARIFICADO	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
	SÓLIDOS DE LA MIEL	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
CONCENTRACIÓN	MIEL	kg	157,65	162,69	174,98	196,13	139,17	141,82
	JARABE	kg	135,38	143,02	144,55	166,91	119,72	118,45
	AGUA EVAPORADA	kg	22,28	19,67	30,43	29,21	19,45	23,38
	PROPORCIÓN DE AGUA EVAPORADA	%	14,13	12,09	17,39	14,89	13,98	16,48
	SÓLIDOS DE LA MIEL	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
	SÓLIDOS DEL JARABE	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
BATIDO	JARABE	kg	135,38	143,02	144,55	166,91	119,72	118,45
	PANELA	kg	135,38	143,02	144,55	166,91	119,72	118,45
	SÓLIDOS DE LA PANELA	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
MOLDEO	PANELA ANTES DEL MOLDEO	kg	135,38	143,02	144,55	166,91	119,72	118,45
	PANELA LUEGO DEL MOLDEO	kg	133,08	140,72	142,25	164,61	117,42	116,15
	PERDIDA DE PANELA EN EL MOLDEO	kg	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
	PÉRDIDA DE PANELA	%	1,73	1,63	1,62	1,40	1,96	1,98
	SÓLIDOS DE LA PANELA	kg	124,55	130,15	132,99	156,90	111,34	107,79
	SÓLIDOS DE LA PANELA	kg	122,43	128,06	130,87	154,74	109,20	105,69
	PERDIDA DE SÓLIDOS	kg	2,12	2,09	2,12	2,16	2,14	2,09
PÉRDIDA DE SÓLIDOS	%	1,70	1,61	1,59	1,38	1,92	1,94	
EMPAQUE	PANELA	kg	133,08	140,72	142,25	164,61	117,42	116,15

	SÓLIDOS DE LA PANELA	kg	122,43	128,06	130,87	154,74	109,20	105,69
ALMACENAMIENTO	PANELA	kg	133,08	140,72	142,25	164,61	117,42	116,15
	SÓLIDOS DE LA PANELA	kg	122,43	128,06	130,87	154,74	109,20	105,69

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para las plantas paneleras diagnosticadas, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

4.8.1. Resultados del Balance de materiales.

Tabla 19. Resultados del balance de materiales total

	UNIDAD	1	2	3	4	5	6
MATERIA PRIMA	kg	995,80	1301,44	996,72	1272,60	936,64	973,18
PRODUCTO FINAL	kg	133,08	140,72	142,25	164,61	117,42	116,15
RESIDUOS	kg	375,37	618,74	420,82	490,40	320,39	436,55
% RESIDUOS	%	37,70	47,54	42,22	38,54	34,21	44,86
AGUA EVAPORADA	kg	487,35	541,98	433,65	617,59	498,83	420,48
% DE AGUA EVAPORADA	%	48,94	41,64	43,51	48,53	53,26	43,21
DESECHOS TOTAL	kg	862,72	1160,72	854,47	1107,99	819,22	857,03
% DESECHOS TOTAL	%	86,64	89,19	85,73	87,06	87,46	88,07
RENDIMIENTO	%	13,36	10,81	14,27	12,94	12,54	11,93

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para las plantas paneleras diagnosticadas, elaborado por el autor (para disertación de pregrado) . Los residuos corresponden a los valores de: bagazo, cachaza negra, cachaza blanca, pérdidas de panela.

En la Tabla Nro. 19 se presentan los resultados del balance total de materiales, se consideran la cantidad de materia prima procesada y el producto final, además, su relación con las pérdidas y desechos, se ha determinado que las agroindustrias paneleras tienen un rendimiento promedio del 12,6%.

Tabla 20. Balance de materiales, solidos totales

	UNIDAD	1	2	3	4	5	6
SÓLIDOS EN LA MATERIA PRIMA	kg	229,03	262,89	242,20	267,25	200,44	218,97
SÓLIDOS PRODUCTO FINAL	kg	122,43	128,06	130,87	154,74	109,20	105,69
PERDIDAS	kg	106,60	134,83	111,33	112,51	91,24	113,27
% PERDIDAS	%	46,55	51,29	45,97	42,10	45,52	51,73
RENDIMIENTO REAL	%	53,45	48,71	54,03	57,90	54,48	48,27

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para las plantas paneleras diagnosticadas, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

En la tabla Nro. 20 se presenta la síntesis del balance de materiales correspondiente a los sólidos solubles contenidos en la materia prima y los contenidos en el producto final, el rendimiento de las paneleras diagnosticadas promedia en el 52% y pérdidas promedio del 48%, este valor nos brinda una percepción real de la eficiencia del proceso.

4.9. Matriz FODA

Fortalezas:	Oportunidades:
1 Sistema de producción por lotes que agiliza el proceso	1 Productores de panela de la zona organizados en una asociación.
2 Las capacidades de procesamiento en litros de jugo de caña por hora, de las plantas paneleras son superiores comparadas al promedio.	2 Apertura del gremio de productores de panela al mejoramiento y tecnificación del proceso productivo.
3 La producción panelera de la zona se mantiene en rangos similares a los de las paneleras tecnificadas.	3 Un mercado que se está ampliando hacia el consumo de productos naturales y menos procesados.
4 El proceso no requiere la aplicación de tratamientos químicos para la producción de panela.	4 Accesibilidad a materias primas de buena calidad.
	5 Baja oferta de panela en el mercado nacional e internacional.
	6 Opciones tecnológicas para el mejoramiento del sistema productivo.
	7 Disponibilidad de resultados de la aplicación de nuevas tecnologías en los sistemas de producción panelera a nivel mundial.
Debilidades:	Amenazas:
1 La capacidad de extracción de jugo es de un 15% menor a la capacidad de jugo extraíble.	1 La industria azucarera tiene un sistema industrial de alta calidad y gran capacidad de procesamiento de subproductos de la caña de azúcar.
2 En la extracción del jugo de caña tiene un 43% de pérdidas de sólidos solubles.	2 Requisitos exigentes para la obtención de certificaciones sanitarias y productivas.
3 El 33% de las plantas paneleras no utiliza filtros en la pre limpieza.	4 Cambio de cultivos en el sector.
4 Las pérdidas de sólidos solubles durante todo el proceso son en promedio del 48%.	5 Políticas gubernamentales que estatizarán 4000 ha. de la zona productiva de caña de azúcar.
5 No existen manuales de proceso ni controles técnicos antes, durante y después de la producción	
6 Los materiales utilizados en los equipos y utensilios son inadecuados.	
7 El sistema de moldeo y empaque es manual y sin controles técnicos de manipulación.	
8 No existen parámetros de	

almacenamiento y control de plagas.	
9 Los hornos utilizados son construidos y manejados de manera empírica, sin registro de controles técnicos	

4.9.1. Matriz de análisis de factores internos (MEFI).

FACTOR A ANALIZAR	PESO	CALIFICACIÓN	PESO PONDERADO
Fortalezas:			
1 Sistema de producción por lotes que agiliza el proceso	0,08	4	0,32
2 Las capacidades de procesamiento en litros de jugo de caña por hora, de las plantas paneleras son superiores comparadas al promedio.	0,07	3	0,21
3 La producción panelera de la zona se mantiene en rangos similares a los de las paneleras tecnificadas.	0,13	4	0,52
4 El proceso no requiere la aplicación de tratamientos químicos para la producción de panela.	0,06	2	0,12
TOTAL PESO PONDERADO FORTALEZAS			1,17
Debilidades:			
1 La capacidad de extracción de jugo es de un 15% menor a la capacidad de jugo extraíble.	0,06	2	0,12
2 En la extracción del jugo de caña tiene un 43% de pérdidas de sólidos solubles.	0,08	4	0,32
3 El 33% de las plantas paneleras no utiliza filtros en la pre limpieza.	0,04	2	0,08
4 Las pérdidas de sólidos solubles durante todo el proceso son en promedio del 48%.	0,11	4	0,44
5 No existen manuales de proceso ni controles técnicos antes, durante y después de la producción	0,13	4	0,52
6 Los materiales utilizados en los equipos y utensilios son inadecuados.	0,05	3	0,15
7 El sistema de moldeo y empaque es manual y sin controles técnicos de manipulación.	0,07	3	0,21
8 No existen parámetros de almacenamiento y control de plagas.	0,06	1	0,06

9 Los hornos utilizados son construidos y manejados de manera empírica, sin registro de controles técnicos.	0,06	3	0,18
TOTAL PESO PONDERADO DEBILIDADES			2,08
TOTAL		1	3,25

Los resultados de este análisis nos indican que es necesario definir estrategias para mejorar el sistema de producción, dado que el peso de las debilidades es mayor al peso de las fortalezas.

4.9.2. Matriz de análisis de factores externos.

FACTOR A ANALIZAR	PESO	CALIFICACIÓN	PESO PONDERADO
Oportunidades:			
1 Productores de panela de la zona organizados en una asociación.	0,07	3	0,21
2 Apertura del gremio de productores de panela al mejoramiento y tecnificación del proceso productivo.	0,08	3	0,24
3 Un mercado que se está ampliando hacia el consumo de productos naturales y menos procesados.	0,07	2	0,14
4 Accesibilidad a materias primas de buena calidad.	0,09	4	0,36
5 Baja oferta de panela en el mercado nacional e internacional.	0,1	3	0,3
6 Opciones tecnológicas para el mejoramiento del sistema productivo.	0,12	4	0,48
7 Disponibilidad de resultados de la aplicación de nuevas tecnologías en los sistemas de producción panelera a nivel mundial.	0,1	4	0,4
TOTAL PESO PONDERADO OPORTUNIDADES			2,13
Amenazas:			
1 La industria azucarera tiene un sistema industrial de alta calidad y gran capacidad de procesamiento de subproductos de la caña de azúcar.	0,07	3	0,21

2	Requisitos exigentes para la obtención de certificaciones sanitarias y productivas.	0,12	4	0,48
4	Cambio de cultivos en el sector.	0,11	2	0,22
5	Políticas gubernamentales que estatizarán 4000 ha. de la zona productiva de caña de azúcar.	0,07	2	0,14
TOTAL PESO PONDERADO DEBILIDADES				1,05
			TOTAL	3,18

El peso de las oportunidades es mayor que las amenazas, por lo tanto, las estrategias para mejorar el sistema productivo deben estar enfocados en las oportunidad que se presentan para la agroindustria panelera.

4.9.3. Estrategias FO, FA, DO, DA.

Estrategias FO:

(F1 – O7): Analizar los resultados de la aplicación de tecnologías en la producción panelera y compararlo con el sistema de producción actual.

(F2 – O4): Optimizar el sistema productivo para aumentar el aprovechamiento de la calidad de las materias primas.

(F3 – O6): Aumentar la productividad de las plantas paneleras actuales, mediante la aplicación de nuevas tecnologías.

(F4 – O3): Potenciar la producción de panela natural, con un enfoque hacia los mercados que tienen preferencia por este tipo de alimentos.

Estrategias FA:

(F2 – A1): Las capacidades de producción de los ingenios azucareros son elevadas y es muy difícil que una agroindustria panelera compita con una industria de este tipo, pero se

debe optimizar el sistema de producción para tener un proceso de alta productividad y constituir una empresa más eficiente.

(F3 – A2): El proceso actual tiene alta producción, con una baja calidad del producto final; el diseño debe considerar esta fortaleza, basándose en los requisitos para la obtención de certificaciones sanitarias.

(F1 – A4): Plantear estrategias para mejorar los cultivos de caña de azúcar aplicando sistemas que aumenten la productividad.

Estrategias DO:

(D5 – O7): Establecer manuales de procesamiento y controles técnicos, en base a los resultados de la aplicación de mejoras tecnológicas en otras agroindustrias paneleras y las normalizaciones.

(D4 – O6): Aplicar mejoras tecnológicas en cada etapa del proceso y así disminuir las pérdidas de sólidos solubles.

(D6 – O2): Brindar capacitaciones a los productores panela, tanto para dar a conocer los materiales adecuados para el procesamiento de alimentos y los controles técnicos que se deben llevar en el proceso para producir panela de buena calidad.

Estrategias DA:

(D5 – A1): Aplicar manuales de proceso y controles técnicos a las agroindustrias paneleras, para aumentar la productividad y ser competitivos por el aprovechamiento de las materias primas, antes que por las capacidades de procesamiento.

(D8 – A2): Establecer parámetros de almacenamiento y control de plagas para precautelar la calidad del producto final, estos parámetros deben regirse a las exigencias de las normalizaciones.

(D1 – A4): Optimizar el proceso de extracción de jugo de caña para aprovechar de mejor manera las materias primas disponibles, produciendo más con menos cantidad de recursos.

Capítulo V. Diseño del proceso para una planta panelera piloto

5.1. Estudio y análisis de las alternativas.

Partiendo del diagnóstico realizado en las paneleras de la provincia de Imbabura, se realiza un estudio de las alternativas que podrían ser aplicadas para mejorar el proceso de elaboración de la panela, tomando en cuenta cada una de las etapas.

5.1.1. Alternativas para la etapa de molienda.

La preparación de la caña previa a la molienda aumenta la capacidad de extracción en un 10 %, este proceso rompe la solidez de la caña y disminuye la fricción que soportan los trapiches, el arrastre de sólidos y jugo se reduce por la dispersión de la fibra, en este sentido se consideran dos alternativas:

Desfibradora.

Chen & Chuo (1993) describen a la desfibradora como el equipo que prepara la caña de azúcar antes del proceso de molienda, sin extraer el jugo, sino dejándola lista para su molienda, existen los modelos Maxwell, Searby y Gruendler.

La desfibradora es un equipo que se usa en la mayoría de ingenios azucareros del mundo, disminuye significativamente el esfuerzo de los molinos en la extracción del jugo de caña.

Se ubica luego de la alimentadora de caña y antes de la trituradora o de los molinos (Hugot, 1986).

La desfibradora en un tándem de molienda es muy útil para la preparación de la caña de azúcar previo a la molienda, siendo más útil en tándems cortos que en tándems largos, esto debido a que un tándem corto necesita extraer los jugos con más rapidez que los tándems largos, un tándem largo tiene más molinos para extraer el jugo. Por lo tanto en las pérdidas de jugo de caña por arrastres en el bagazo de caña, luego de la molienda, en tándems cortos se reducirían en un 2 a 3% (Panda, 2011).

Trituradora.

Este equipo es muy utilizado en la industria azucarera y fue implementado en los años 1900 con el llamado “tren de molienda o tándem de molienda” en los ingenios azucareros.

Hugot, E. (1986) señala que “incorporar al sistema una trituradora de caña aumenta entre un 5 y un 10 % la capacidad de extracción del trapiche” (pág. 51). La trituradora de caña consta de dos masas con un ajuste medio; está ubicada antes del primer molino, la trituradora no tiene el objetivo de extraer jugo sino de deformar la caña para disminuir la fricción y la presión que tendría que soportar el trapiche y sus motores al moler la caña sin ninguna preparación. Payne (1996) sostiene que “una trituradora puede darle un 27 % más de extracción al primer molino” (pág. 24).

Existen algunos modelos de trituradora; sin embargo, la más utilizada es el modelo Fulton ya que por el labrado que tienen sus masas ha sido comprobada su efectividad y el beneficio de emplearla en un trapiche por la disminución de la fuerza que tendría que realizar el primer molino y el aumento del porcentaje de extracción.

El abastecimiento de caña a la trituradora debe ser constante y tener una inclinación entre 45-56°, la velocidad debe ser entre un 30 -40 % más rápida que los molinos, la presión debe ser un 50 – 75 % más elevada que la de los molinos, la apertura para ingreso de la caña debe estar en el orden de 28- 63 mm (Hugot, 1986).

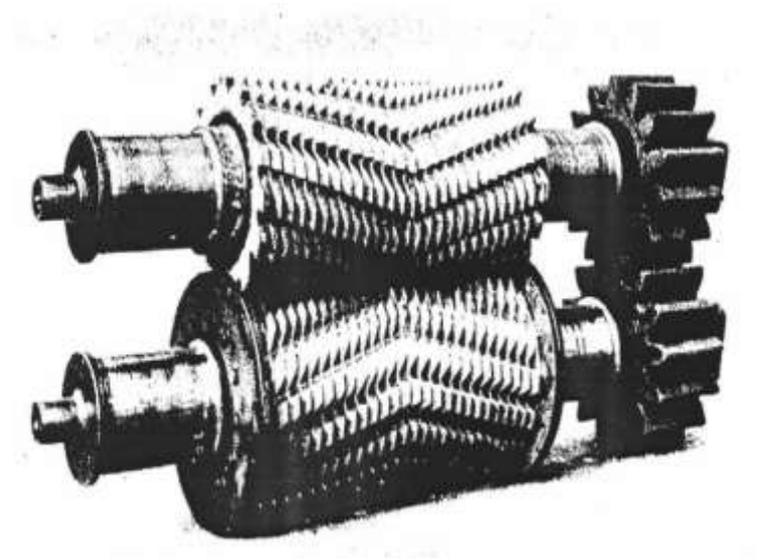


Ilustración 4. Masas de la trituradora de caña Fulton
Fuente: Hugot, E., (1986)

La caña triturada pasa al primer molino donde realmente se va a extraer el jugo de caña.

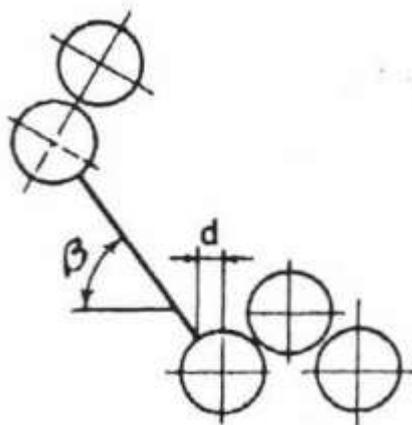


Ilustración 5: Disposición de la placa de alimentación entre la trituradora y el primer molino

Fuente: Hugot, E., (1986)

Tándem de molinos

El tándem de molienda es una secuencia de molinos en los que el objetivo es extraer la mayor cantidad posible de sacarosa contenida en la caña de azúcar. En la actualidad el tándem está conformado por un sistema de dos a seis molinos, cuando la caña ha sido molida en el primer molino pasa al siguiente por medio de alimentadores o bandas transportadoras; remoler el bagazo de caña varias veces, luego de que en el primer molino se ha extraído más del 50% del jugo contenido en la caña, no tendría mucho sentido volver a moler un bagazo seco, es por esto que a partir del segundo molino es necesario aplicar imbibición.

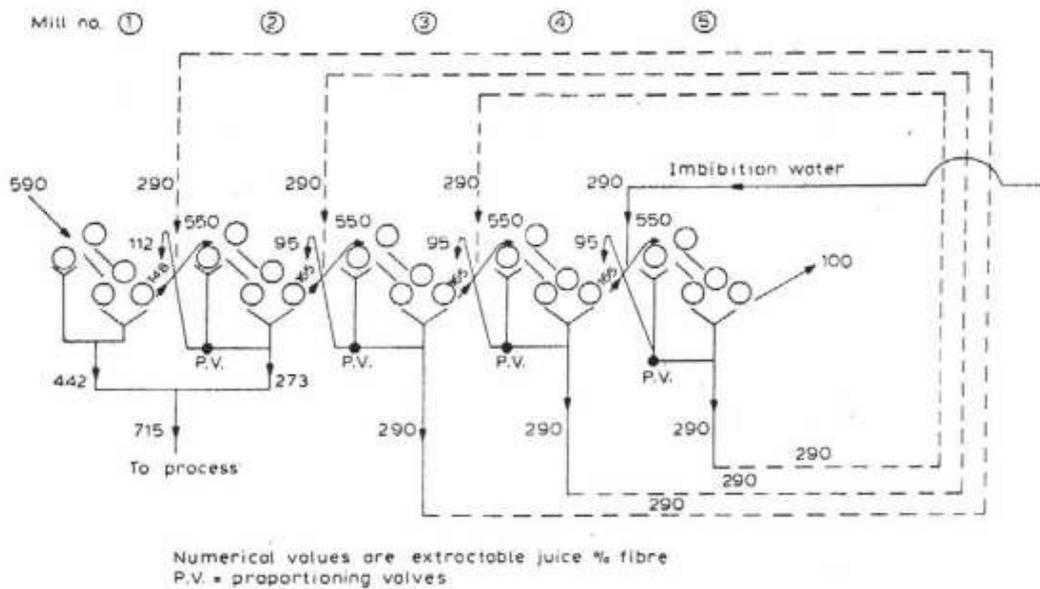


Ilustración 6. Tándem de molienda. Circuito de Imbibición
Fuente: Hugot, E., (1986)

Imbibición.

La imbibición es el método empleado en la molienda de caña de azúcar, cuyo objetivo es disolver los sólidos solubles que están en el bagazo. Para alcanzar este objetivo, se añade agua caliente a la masa de bagazo que sale de un trapiche, se debe imbibir el bagazo antes de que pase al siguiente trapiche. El agua de imbibición se obtiene de los condensados y del vapor natural de los evaporadores (Baikow, 1982)

Aplicando adecuadamente la imbibición en un proceso de molienda se aumenta la capacidad de extracción, disminuyen las pérdidas de sacarosa arrastrada en el bagazo, de facilita la extracción en los trapiches (Delden, 2013).

Hugot (1986), define los parámetros para el manejo de la imbibición:

- 1.- Control de la temperatura del agua de imbibición, que no puede superar los 60 °C, para evitar la extracción de gomas y ceras.
- 2.- La cantidad de agua de imbibición que se añade al bagazo debe estar entre el 6 y 16% del peso del bagazo, esta variable depende directamente de la cantidad de molinos con los que cuenta el tándem, el momento y el método de imbibición a ser empleado.

Si el proceso de molienda se da en un tándem largo, se debe considerar que no es recomendable sobre pasar el 16% de agua de imbibición ya que el proceso de evaporación se volvería ineficiente, por el exceso de agua a evaporar.

5.1.2. Alternativas para la etapa de limpieza de jugos.

Pre limpiadores.

El pre limpiador por decantación natural diseñado por el Centro de Investigación Panelera de Colombia es un sistema que retiene el jugo por un tiempo y por efecto de la gravedad hace que las partículas pesadas como lodos, tierra y arena se precipiten al fondo del recipiente, simultáneamente. Por flotación se separan las partículas livianas como hojas, bagacillos, insectos e impurezas que flotan. El prelimpiador debe ser construido en acero inoxidable y estar ubicado después de la molienda (Villalba, et al., 2000) (Osorio, 2007).

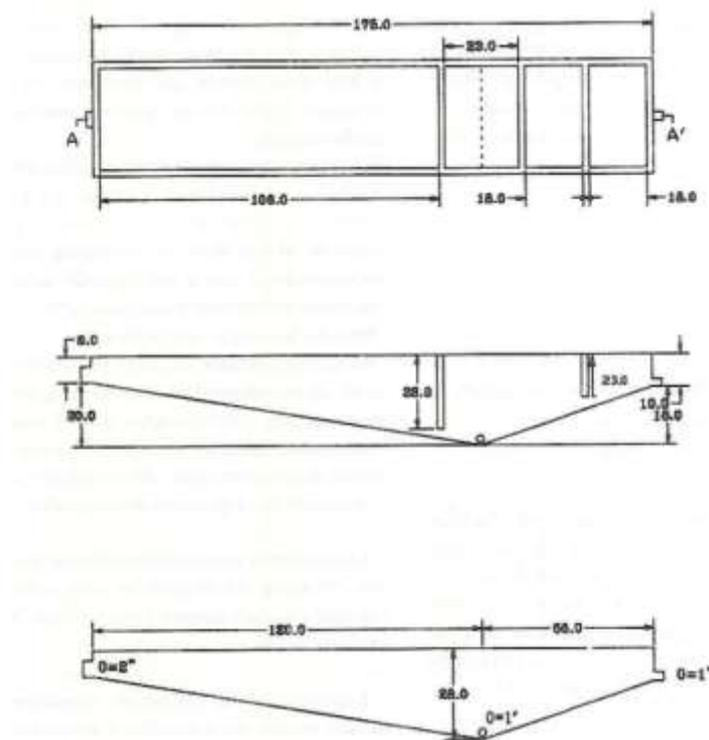


Ilustración 7. Vista de techo, corte A-A` y vista de frente del prelimpiador CIMPA

Fuente: Villalba, et al., (2000)

Prada (2002), presenta dos diseños de pre limpiadores del jugo de caña que se pueden emplear de acuerdo al flujo de jugo extraído, para extracciones de menos de 400 litros por hora recomienda el prelimpiador 1:

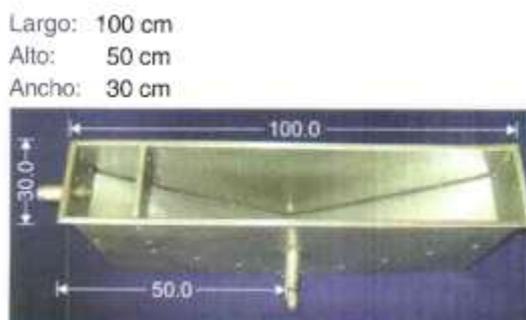


Ilustración 8. Prelimpiador uno

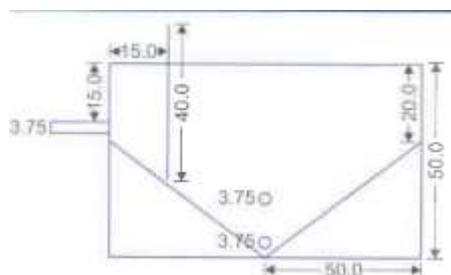


Ilustración 9. Dimensiones prelimpiador uno

El pre limpiador dos puede ser utilizado en trapiches con extracciones sobre los 400 litros por hora.

Largo: 175 cm
 Alto: 30 cm
 Ancho: 30 cm

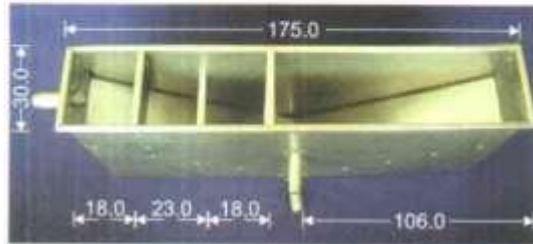


Ilustración 10. Prelimpiador dos

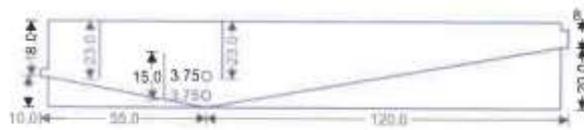


Ilustración 11. Dimensiones prelimpiador dos

Las ecuaciones para el cálculo de los lodos y bagacillos son las siguientes:

$$lodos = Jc - Jl \tag{3}$$

Donde:

Jc: Jugo de caña
Jl: Jugo limpio

Contenido de lodos:

$$\%lodos = \frac{Plodos}{Pjc} \times 100 \tag{4}$$

Donde:

Plodos: Peso de los lodos
Pj: Peso del jugo

5.1.3. Alternativas para la etapa de clarificación.

El proceso de clarificación consta de dos fases que se realizan en dos tinas diferentes.

El primer proceso de clarificación se realiza en la tina que recibe el jugo de caña filtrado o limpio, en la cual la temperatura se eleva hasta los 80°C y se extrae la cachaza primera o cachaza negra. Luego de realizar esta limpieza el jugo pasa a la siguiente tina en la que eleva la temperatura hasta el punto de ebullición, momento en el cual se deben añadir los aglutinantes o clarificantes, que producen la formación de la segunda cachaza o cachaza blanca (García, Albarracín, & Toscano, Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera, 2007), (Osorio, 2007).

Las cachazas negra y blanca pasan a un filtro cachacero, en donde por sedimentación se separa el jugo de la torta de cachaza. El jugo regresa a la primera tina de clarificación y la torta puede ser empleada para otros fines (García, Albarracín, & Toscano, Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera, 2007).

5.1.4. Alternativas para la etapa de evaporación.

Tinas abiertas calentadas con vapor.

Estos equipos se han comenzado a utilizar en muchas fábricas paneleras y funcionan alimentadas por vapor, se emplean los modelos:

- Tinas abiertas con serpentín: Este tipo de tinas llevan en su interior un serpentín al que es alimentado con vapor, en la tina se llena con jugo de caña, la transferencia de calor

se realiza por el contacto del jugo de caña con el serpentín calentado por el vapor, los jugos deben ser agitados permanentemente.

- **Tinas abiertas de doble camisa:** En estas tinas el vapor se alimenta al espacio vacío existente en el recubrimiento de doble camisa, los jugos son llenados en las tinas, la transferencia de calor se da en toda el área de contacto de los jugos con la tina. Estas tinas se las ubica de dos maneras ya sea sobre el suelo como en la mayoría de industria alimenticias o dentro del suelo como se puede observar en las gráficas siguientes.

Evaporadores cerrados al vacío.

Existen varios tipos de evaporadores que son escogidos de acuerdo a las necesidades y productos que se desea producir, en la industria azucarera se implementaron en los años 1900 por Rousselot en los ingenios azucareros de Queensland para luego ser mayormente investigados en Cuba, Francia y Australia.

El modelo de evaporadores que más se utiliza en la industria azucarera es el de tubos verticales cortos en los que el vapor caliente es alimentado a la calandria, mientras que el jugo de caña es alimentado al cuerpo del evaporador, la transferencia de calor se da dentro del evaporador en los tubos, la agitación de los jugos no es necesaria ya que por la ebullición de los jugos dentro del evaporador los jugos suben y bajan por la calandria calentándose así todo el jugo uniformemente, los evaporadores funcionan al vacío por lo tanto las temperaturas de ebullición del jugo son menores y se conservan las propiedades nutricionales de los jugos, se evita el desdoblamiento de los azúcares y el producto es totalmente inocuo desde su ingreso hasta la salida de los evaporadores.

Los modelos de un solo evaporador resultan útiles para flujos bajos o limitados de fluido por su costo y la eficiencia que este podría generar, la implementación de un sistema de dos evaporadores o más tiene algunas variables beneficiosas y otras no tan beneficiosas,

por ejemplo: el vapor vegetal producido de la evaporación de los jugos es utilizado para alimentar la calandria del siguiente evaporador pero para que esto sea posible se debe emplear una bomba de vacío que ejerza la presión de succión del vapor, se debe tener un flujo constante de alimentación de jugo para que el segundo evaporador funcione correctamente, los costos de mantenimiento se elevan considerablemente.

Para dimensionar y diseñar evaporadores se sigue el proceso que se presenta a continuación:

Balance de materiales en evaporadores:

$$m_f = m_v + m_p \quad (14)$$

Donde:

mf: flujo másico del fluido de alimentación
 mv: flujo másico del vapor extraído
 mp: flujo másico del producto condensado

$$x_f m_f = x_p m_p \quad (15)$$

Donde:

xf: fracción de sólidos del fluido de alimentación
 mp: fracción de sólidos del producto condensado

Balance de energía en evaporadores:

$$m_f H_f + m_s H_{vs} = m_v H_{v1} + m_p H_{p1} + m_{cs} H_{cs} \quad (16)$$

Donde:

H_f : entalpía del fluido de alimentación
 m_s : flujo másico del vapor de alimentación
 H_{vs} : entalpía del vapor a T de alimentación
 H_{v1} : entalpía del vapor a temperatura de la calandria del evaporador
 H_{p1} : entalpía del fluido concentrado
 m_{cs} : flujo másico de condensados del vapor
 H_{cs} : Entalpía de los condensados del vapor

El primer término de la ecuación 14 $m_f H_f$ representa la entalpía total del fluido de alimentación, para obtener el valor de H_f empleamos

$$H_f = c_{pf}(T_f - 0^\circ C) \quad (17)$$

Dónde:

C_{pf} : calor específico del fluido de alimentación

En el término $m_p H_{p1}$ de la ecuación 14 se calcula H_{p1} mediante la siguiente ecuación:

$$H_{p1} = c_{pp}(T_1 - 0^\circ C) \quad (18)$$

Dónde:

C_{pp} : calor específico del fluido concentrado

Con las ecuaciones anteriores definimos el calor de transferencia y empleamos la siguiente ecuación:

$$q = UA(T_s - T_1) = m_s H_{vs} - m_{cs} H_{cs} \quad (19)$$

Dónde:

q : calor de transferencia

U : coeficiente global de transferencia de calor

A : área de transferencia de calor

5.1.5. Alternativas para la etapa de punteo o concentración.

Las tinas abiertas de doble camisa son una buena opción y resultan útiles para dar el punto de concentración final a la panela, por los controles permanentes que se debe tener hasta que se logre la concentración final. Por otro lado, las tinas cerradas con una abertura de control asegurarían la inocuidad de la panela y se puede seguir controlando el producto, guardarían mejor el calor. En la parte superior se puede implementar un agitador de aspas que mantenga la masa en movimiento esto evitaría que la masa se quemara.

5.1.6. Alternativas para la etapa de batido y granulado.

El desgaste energético de los operarios y el riesgo de contaminación al batir y enfriar la masa de panela manualmente es elevado, la tecnificación del proceso con la implementación de un agitador de aspas horizontal disminuye la cantidad de personal que labora en la planta, acelera el proceso, y permite la estandarización del producto, facilitando el cálculo de tiempos de proceso.

El batido se realiza en tinas de acero inoxidable ya sea con un batidor automático o bien manualmente con palas de acero inoxidable.

El proceso mecánico implica la implementación de maquinaria específica para este fin, en la cual la masa de panela al salir de la tina de punteo pasa directamente al equipo en el que se bate y se granula automáticamente, luego se tamiza y se empaca la panela, este proceso disminuye en gran medida la producción de material de reproceso.

La etapa de granulado implica gran esfuerzo físico para los operarios. El grano resulta irregular y se genera mucho material para reproceso, los tiempos de procesamiento resultan bastante elevados y la panela está expuesta a la contaminación.

El granulador, estandariza el grano de la panela, disminuye los tiempos de procesamiento, disminuye el personal requerido para esta operación, la panela está poco expuesta a la contaminación, se disminuye la cantidad de material de reproceso.

El granulador de panela es una máquina batidora horizontal provista de 14 paletas pegadas al eje, en forma de peine que giran barriendo el interior de la carcasa; diseñadas para la reducción de partículas de los aglomerados del material. Sus paletas tienen un ángulo de inclinación adecuada para producir el desplazamiento de partículas de los aglomerados del material dentro de la carcasa horizontal. Para capacidades de 60 a 70 kg/h procesamiento se emplea un motor de 2HP a 120 RPM, 110V.

Para la elaboración de panela granulada el proceso puede ser manual o mecánico, el proceso manual se da en tinas de acero inoxidable donde la masa de panela es batida y aplastada hasta lograr un grano lo más fino posible, luego de esto se tamiza la panela y se obtiene el grano requerido. Los restos que sobran en el tamiz son reprocesados.

El proceso mecánico implica la implementación de maquinaria específica para este fin, en la cual la masa de panela al salir de la tina de punteo pasa directamente al equipo en el que se bate y se granula automáticamente, luego se tamiza y se empaca la panela, este proceso disminuye en gran medida la producción de material de reproceso.

5.1.7. Alternativas para la etapa de moldeo.

El moldeo para la panela sólida se debe realizar obligatoriamente en madera por su propiedad de secado y compresión lo que evita que la panela se pegue a la superficie, se debe tener especial cuidado con el agua de lavado de los moldes y desinfectar los moldes frecuentemente.

Cuando se produce el tipo de panela que requiere un molde para su presentación final se ha comprobado que es necesario que el material de los moldes sea madera porque la madera tiene la capacidad de contracción, los moldes están permanentemente bajo inmersión en agua, al absorber agua la madera se ensancha y cuando la panela caliente es colocada en los moldes húmedos, el agua que estos han absorbido se va evaporando al mismo tiempo que la panela se va enfriando, cuando la panela llega a los 60°C, está lista para ser desmoldada, y gracias a la contracción de los moldes por la evaporación del agua que habían absorbido, el producto puede ser extraído sin complicaciones; la madera empleada no debe ser resinosa, se debe emplear por ejemplo: madera de roble, haya, olmo, nogal, etc.

Los moldes deben ser lavados y desinfectados luego de cada uso, preferiblemente con un desinfectante, bactericida, fungicida y virucida, que sea permitido de acuerdo a las normativas de higiene en la industria alimenticia; la calidad de la panela dependerá mucho de este proceso ya que es aquí donde se produce la mayor contaminación de la panela.

5.1.8. Alternativas para la etapa de empaque.

El empaque de la panela se debe realizar de acuerdo a las normas existentes, teniendo especial cuidado con el personal y con la manipulación que se le da al producto, la calidad

del material de empaque y el mercado de destino. El empaque se define de acuerdo al tipo de panela que se va a producir, las presentaciones deseadas y el mercado al que se va a dirigir el producto.

En caso de ser panela granulada los empaques deben ser fundas de polipropileno en las presentaciones requeridas.

Para el empaque de panela sólida, se debe empaclar en fundas de polipropileno y posteriormente en cartón

5.1.9. Alternativas para la etapa de almacenamiento.

El almacenamiento de este producto se debe hacer de acuerdo a las normas existentes, controlando la humedad del ambiente, las plagas, el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

5.1.10. Alternativas para la generación de calor.

Hornilla panelera plana (tradicional)

Este tipo de hornilla es la que comúnmente se emplea con una antigüedad de más de 100 años, construida empíricamente con la experiencia del constructor. El flujo del jugo es en contra corriente, el esquema de producción es el siguiente, en el que se puede identificar las áreas de la hornilla (Mendieta et al. 2011).

Como lo señala Chejne, Agudelo, & Velásquez (2004), la hornilla panelera tradicional presenta algunas desventajas y bajas eficiencias energéticas en su proceso con eficiencia energética de 37 %. Pérdidas de calor por chimenea del 44 % de la energía suministrada al

sistema, y pérdidas de calor por las paredes del 18%, estos desperdicios de energía resultan ser muy elevados y generan cuantiosas pérdidas en los trapiches paneleros.

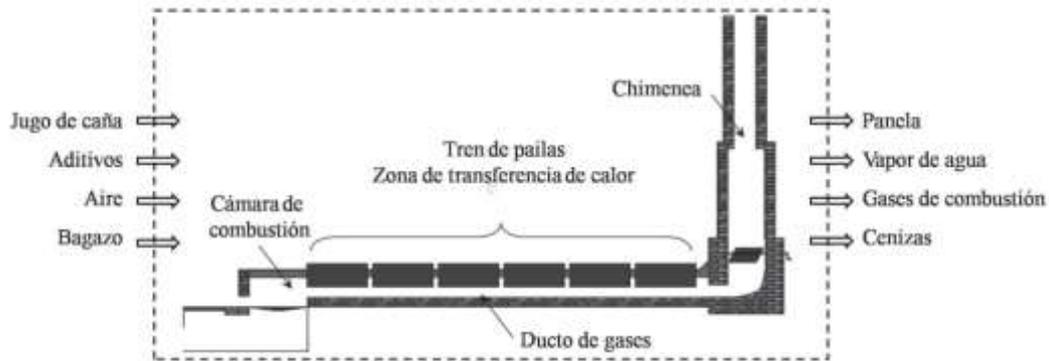


Ilustración 12. Partes de la hornilla panelera tradicional
Fuente: Mendieta et al., (2011)

Hornilla panelera plana - CIMPA (tradicional mejorada)

Este es un diseño mejorado de la hornilla panelera tradicional donde, el bagazo se quema a una distancia prudente de la primera paila alcanzando temperaturas mayores a los 900 °C; el bagazo suministrado a este tipo de cámara se caracteriza por presentar un bajo contenido de humedad.

Por lo general una cámara de combustión produce 7% Vol. de monóxido de carbono, entre el 11 y 12 % Vol. de dióxido de carbono. Cuando se le suministra un bagazo seco con el 28% de humedad y un exceso de aire cercano al 60 % del estequiométrico, las dimensiones se las determina de acuerdo a las necesidades de energía para el sistema (Soler & Gómez, 2004).

En la ilustración 13 se presenta las principales partes de la cámara de combustión de la hornilla plana – CIMPA.

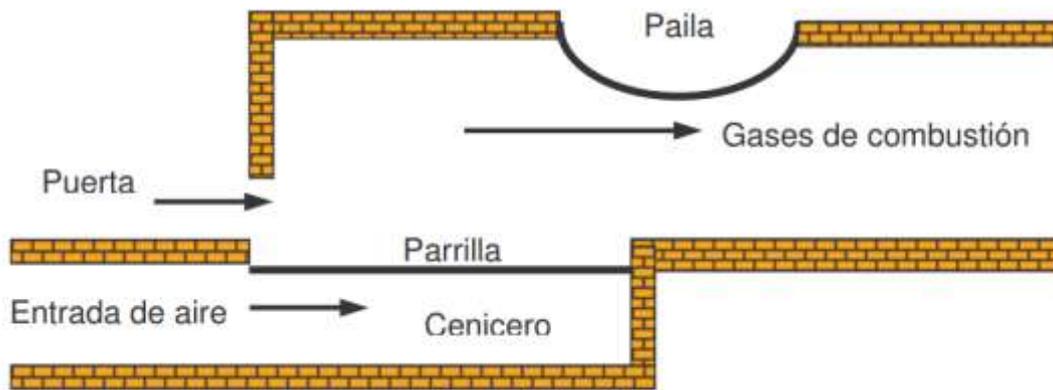


Ilustración 13. Cámara de combustión Plana – CIMPA

Hornilla panelera tipo Ward – Cimpa

Soler y Gómez (2004, pág. 15) sostienen que

La hornilla tipo Ward CIMPA posee un diseño especial que aumenta la eficiencia de la combustión y del proceso, puesto que en ella se obtiene una mayor estabilidad en términos de temperatura y potencia con relación al tiempo. Una cámara de este tipo puede alcanzar temperaturas cercanas a los 1200°C con un producción promedio de monóxido de carbono, 3% en volumen y de dióxido de carbono de 14 % en volumen, cuando se le suministra un exceso de aire al 60 % y una humedad promedio del bagazo del 40 %

Este tipo de cámara presenta dos características especiales:

- En el primer lugar, posee una rampa donde se precalienta el bagazo antes de quemarse, allí la humedad contenida en el bagazo se evapora por medio de la energía radiante proveniente de la masa de bagazo incandescente de la cámara; esta característica permite incluso introducir bagazo recién salido del molino que por lo general contiene una humedad cercana al 55% en peso.
- En segundo lugar, el aire requerido para la combustión se suministra en dos corrientes: una de aire primario que circula a través de la parrilla y que corresponde

al 70% del volumen total del diseño, y otra de aire secundario que corresponde al 30 % restante, que se suministra en la parte superior de la cámara que se suministra por medio de tubos cilíndricos. El aire primario se utiliza en la combustión del coque en la zona de oxidación y reducción del lecho del bagazo, y el aire secundario se usa para la combustión de los volátiles sobre el lecho de bagazo.

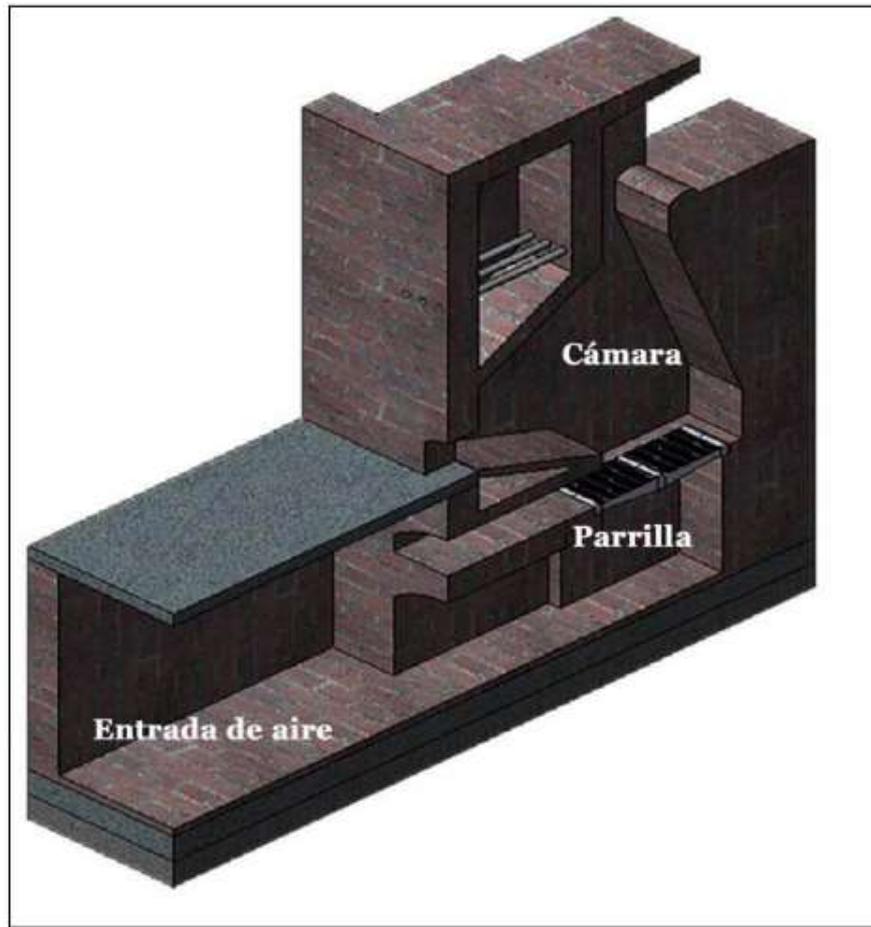


Ilustración 14. Cámara de combustión Ward - CIMPA

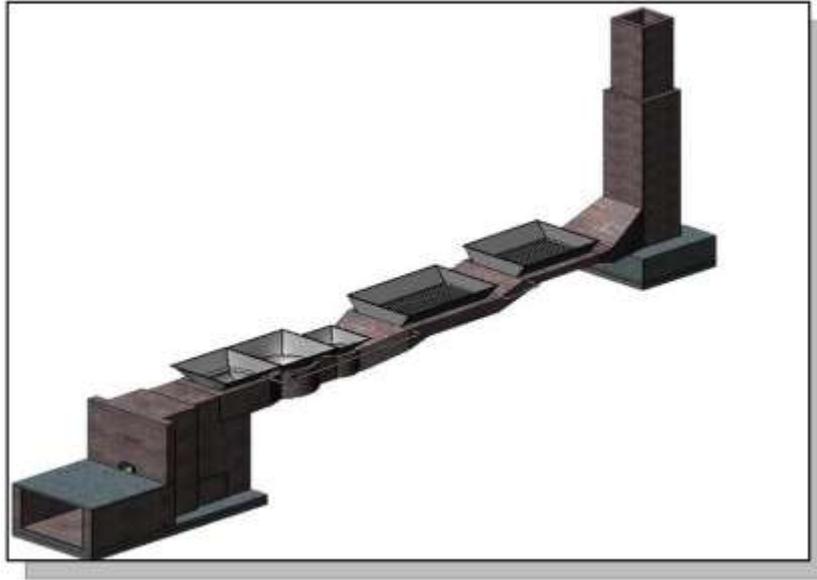


Ilustración 15. Hornilla Ward - CIMPA

En el análisis energético de este tipo de hornilla se indica los beneficios de un diseño adecuado y tecnificado; sin embargo, los gases de combustión y las pérdidas por la chimenea alcanzan el 35 % además, el consumo de bagazo es igual al bagazo producido.

Generador de vapor

Un generador de vapor tiene por objetivo producir vapor de agua a una presión mayor a la atmosférica, con el fin de aprovechar la energía que posee en tales condiciones y cubrir las necesidades de la fábrica.

El calor necesario para evaporar el agua proviene de la energía liberada en el proceso de oxidación de un combustible. Dicha liberación de energía se manifiesta en forma de calor (calor de combustión) y se transfiere al agua por mecanismos de radiación, convección y conducción.

La mayoría de generadores de vapor emplean combustibles fósiles para la producción del vapor, sin embargo la industria azucarera emplea calderos en los que se combustiona solo bagazo de caña, para la producción panelera existen en el mercado calderos de combustión mixta, que emplean un combustible fósil y bagazo.

La implementación de un caldero tiene algunas ventajas para la industria alimenticia, como por ejemplo la facilidad de manejo del equipo misma que puede ser automatizada lo que se reflejaría en la disminución de personal.

La eficiencia energética de un caldero por lo general está sobre el 50 % y principalmente depende del manejo y la instalación del mismo, presenta facilidad para el manejo del vapor ya que puede llegar a los lugares deseados y se puede diseñar el proceso y la planta de acuerdo a la facilidad de manejo de los materiales. Se dimensiona el caldero de acuerdo los requerimientos energéticos del proceso por lo que no se tendrá una sobre producción de energía y las pérdidas se disminuyen.

Para el dimensionamiento de un generador de vapor se debe calcular el requerimiento de calor total del proceso más el 10% extra para evitar problemas de falta de abastecimiento, algunos autores como Joseph Irudayaraj (2002) recomiendan sobredimensionar en un 20 % la capacidad del caldero ya que se debe considerar el crecimiento de la planta y por ende el aumento de los requerimientos de calor.

Las ecuaciones para el cálculo y dimensionamiento del caldero son:

$$Q_r = Q_g \quad (20)$$

Donde:

$Q_r = \text{Calor requerido}$

$Q_g = \text{Calor Generado}$

El generador de vapor se fabrica de acuerdo a los requerimientos de la planta, por lo tanto las libras de vapor requerido, la presión, temperatura, y calor latente, que el generador produzca dependerán de lo que el diseñador de la planta requiera.

5.2. Selección de alternativas

Se seleccionan las siguientes alternativas para la propuesta del sistema de producción de panela:

Para la molienda se considera la implementación de un sistema de preparación de la caña de azúcar y el mejor sistema es el de desfibrado, por lo tanto se instará una desfibradora.

Luego del desfibrado, la caña pasará al primer trapiche en el que se tendrá la mayor extracción de jugo, se modificará el labrado de las masas del trapiche al labrado Fulton. El bagazo resultado de la primera molienda seguirá por una banda de trasportación, durante esta etapa se imbibirá el bagazo con el sistema de aspersion, el bagazo imbibido pasará una segunda desfibradora, y posteriormente al segundo trapiche, del cual se obtendrán, por un lado el bagazo seco que pasará directamente al generador de vapor y por otro el jugo de caña mixto.

El jugo de caña extraído en el primer trapiche y el del segundo se mezclarán en la intersección de la tubería y seguirá su trayecto hasta el pre limpiador.

El jugo, habiendo pasado la prelimpieza pasará a la primera tina abierta de doble camisa en la que se pre calentará el jugo de caña hasta un temperatura entre los 70 y 80°C en la que se formará la cachaza negra o primera cachaza, misma que se extraerá como residuo.

Tras el primer descachazado en la primera tina el jugo pasará por medio de una bomba a una segunda tina, en esta tina el jugo llegará a temperatura de ebullición, que considerando la altura de la zona de producción evaluada y la concentración de solidos totales será entre los 93 y 95 °C; en este momento se deberá añadir el fluido clarificante para que se lleve a cabo la clarificación de los jugos, el efecto del clarificante provocará la formación de la cachaza blanca, la cachaza se extraerá con un colador especial, y se colocará en el filtro de cachaza, en el que se separa la torta de cachaza del jugo de caña, el jugo de caña obtenido en el filtro regresará a la tina primera y el jugo clarificado continuará su proceso; además, en esta tina se deberá elevar la concentración del jugo de caña hasta los 25°Bx antes de su paso al evaporador.

El jugo clarificado, pasará a un evaporador de tubos cortos verticales con circulación natural, sistema de un solo efecto; la concentración de salida que debe alcanzar el jugo de caña deberán ser de 70°Bx cuando el jugo se haya convertido en miel; el vapor vegetal obtenido de esta operación servirá para la imbibición del bagazo en el proceso de molienda.

Cuando la miel ha alcanzado las condiciones requeridas deberá pasar al sistema de concentración hasta que alcance las condiciones para convertirse en panela, para este fin se implementará una tina de doble camisa, con un agitador de aspas de 10 rpm, la tina deberá ser cerrada con una abertura de control, para el paso a la siguiente operación se contará con válvulas de control y la salida de la panel será por gravedad.

Para la elaboración de panela sólida se empleara un sistema de batido mecánico con un tornillo sin fin que enfríe y bata la miel hasta el estado requerido (90°C), luego de enfriada la masa de panela pasará a los moldes, los moldes llenos se colocarán en una mesa donde podrá enfriarse la panela.

Para la elaboración de panela granulada se implementará un granulador en el que se producirá directamente el grano de panela, luego de este proceso pasará a un tamiz para la estandarización del producto, la panela granulada pasará a mesas de enfriamiento.

El empaque de la panela se realizara en mesas de acero inoxidable, según las normas de empaque de alimentos y con los controles necesarios que aseguran la inocuidad del producto.

Para el almacenamiento de la panela se ha destinado un espacio apartado de la zona de procesamiento, deberá contar con controles de la humedad ambiental, control de temperatura, control de ingreso y salida, y controles de plagas.

5.2.1. Balance de materiales

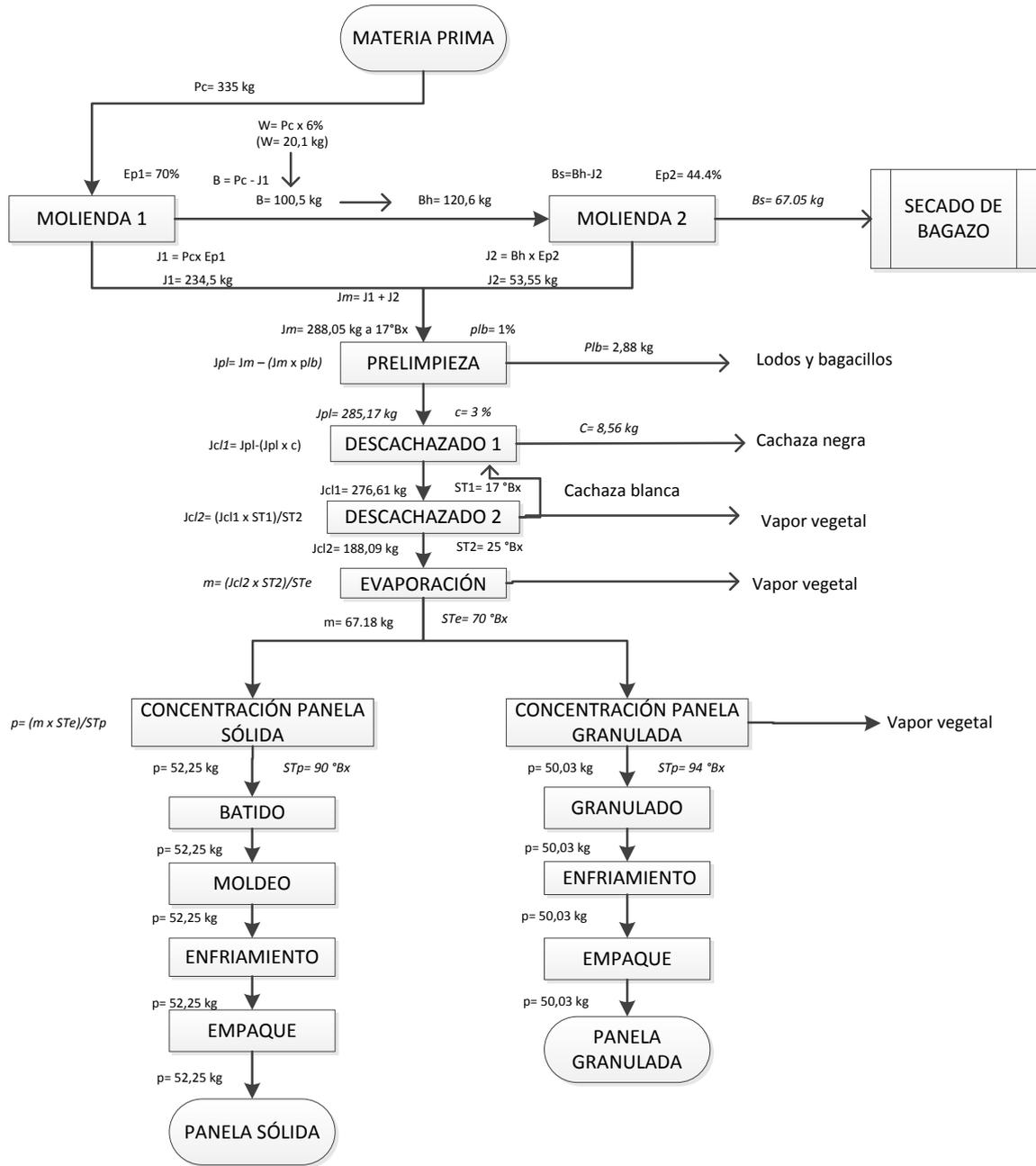


Ilustración 16. Flujograma de proceso de la panela, balance de materiales.

Nota Fuente: Pita, L (2015). Flujograma de proceso de la panela, balance de materiales, flujograma elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

Tabla 21. Balance de materiales total para panela granulada

	UNIDAD	Diseño propuesto
MATERIA PRIMA	kg	335,00
PRODUCTO FINAL	kg	50,77
DESECHOS	kg	75,61
% DESECHOS	%	22,57
AGUA EVAPORADA	kg	208,62
% DE AGUA EVAPORADA	%	62,27
DESECHOS TOTAL	kg	284,23
% DESECHOS TOTAL	%	84,84
RENDIMIENTO	%	15,16

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para el proceso propuesto, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

Tabla 22. Balance de materiales para la producción de panela en bloque

	UNIDAD	Proceso propuesto
MATERIA PRIMA	kg	335,00
PRODUCTO FINAL	kg	53,03
DESECHOS	kg	75,61
% DESECHOS	%	22,57
AGUA EVAPORADA	kg	206,36
% DE AGUA EVAPORADA	%	61,60
DESECHOS TOTAL	kg	281,97
% DESECHOS TOTAL	%	84,17
RENDIMIENTO	%	15,83

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para el proceso propuesto, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

En la Tabla Nro. 21 y 22 se presentan los resultados del balance de materiales para la propuesta de producción de panela granulada y panela en bloque, el rendimiento general del proceso se ha definido en un 15,16 %, valor 4% mayor que el promedio obtenido en el diagnóstico de las plantas paneleras de Imbabura.

Tabla 23. Balance de materiales para los sólidos totales en la producción de panela

	UNIDAD	Proceso propuesto
SÓLIDOS EN LA MATERIA PRIMA	kg	67,00
SÓLIDOS PRODUCTO FINAL	kg	47,73
PERDIDAS	kg	19,27
% PERDIDAS	%	28,76
RENDIMIENTO REAL	%	71,24

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para el proceso propuesto, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

En la tabla Nro. 23 se presentan los resultados del balance de materiales de los sólidos solubles del proceso propuesto, el proceso propuesto indica un rendimiento del 71,24, planteando un rendimiento 20% superior al que se tiene en las agroindustrias paneleras diagnosticadas.

5.2.2. Requerimientos de energía

Propiedades del vapor de alimentación
 HW=506,52 Kcal/kg
 T= 147,9 °C
 P=45887,23 Kg/m²

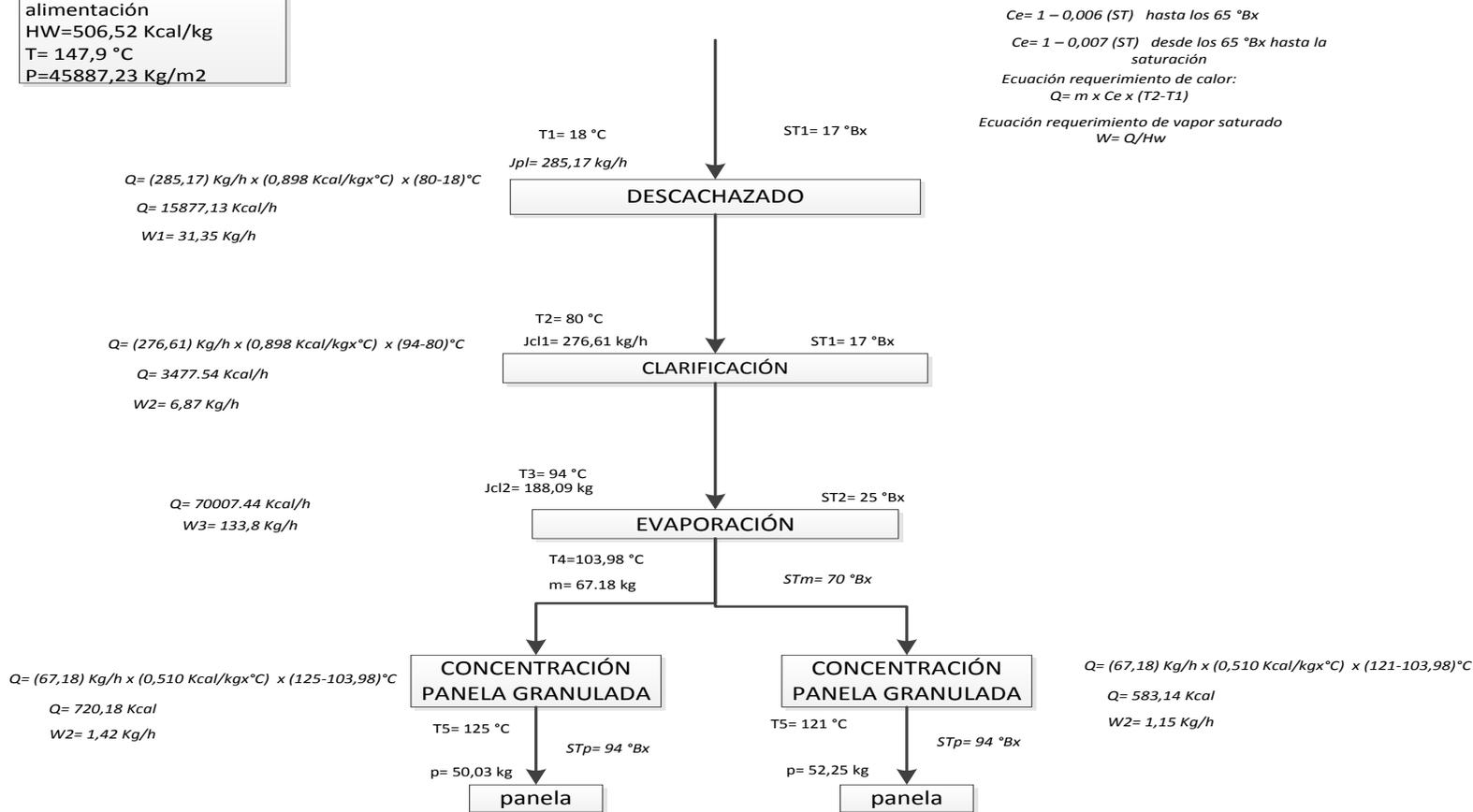


Ilustración 17: Flujograma de proceso de la panela, requerimientos de energía.

Nota Fuente: Pita, L (2015). Flujograma de proceso de la panela, requerimientos de energía, flujograma elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

Para el cálculo del requerimiento de energía se ha realizado un balance de energía para el proceso propuesto, mismo que se puede evidenciar en la ilustración Nro. 17, las propiedades del vapor se basan en el diseño de evaporadores para mejorar la eficiencia térmica y productividad en la agroindustria panelera de García y Peña (2012).

Tabla 24. Requerimientos de energía para el proceso propuesto

ETAPAS	Cp. Kcal/Kg °C	W (Kg/h)	Q (Kcal)
Descachazado	0,8980	31,35	15877,13
Clarificación	0,8980	6,87	3477,54
Evaporación	0,5100	133,8	70007,44
Concentración	0,5100	1,42	720,18
Total	2,8160	173,44	90082,29

Nota fuente: Pita, H L A (2015). Balance de materiales para el proceso propuesto, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

Según los resultados obtenidos las características del caldero deben ser: capacidad de producción de 173,44 kg de vapor/hora y aportar un calor de 90082,29 kcal/h.

5.2.3. Representación gráfica del proceso

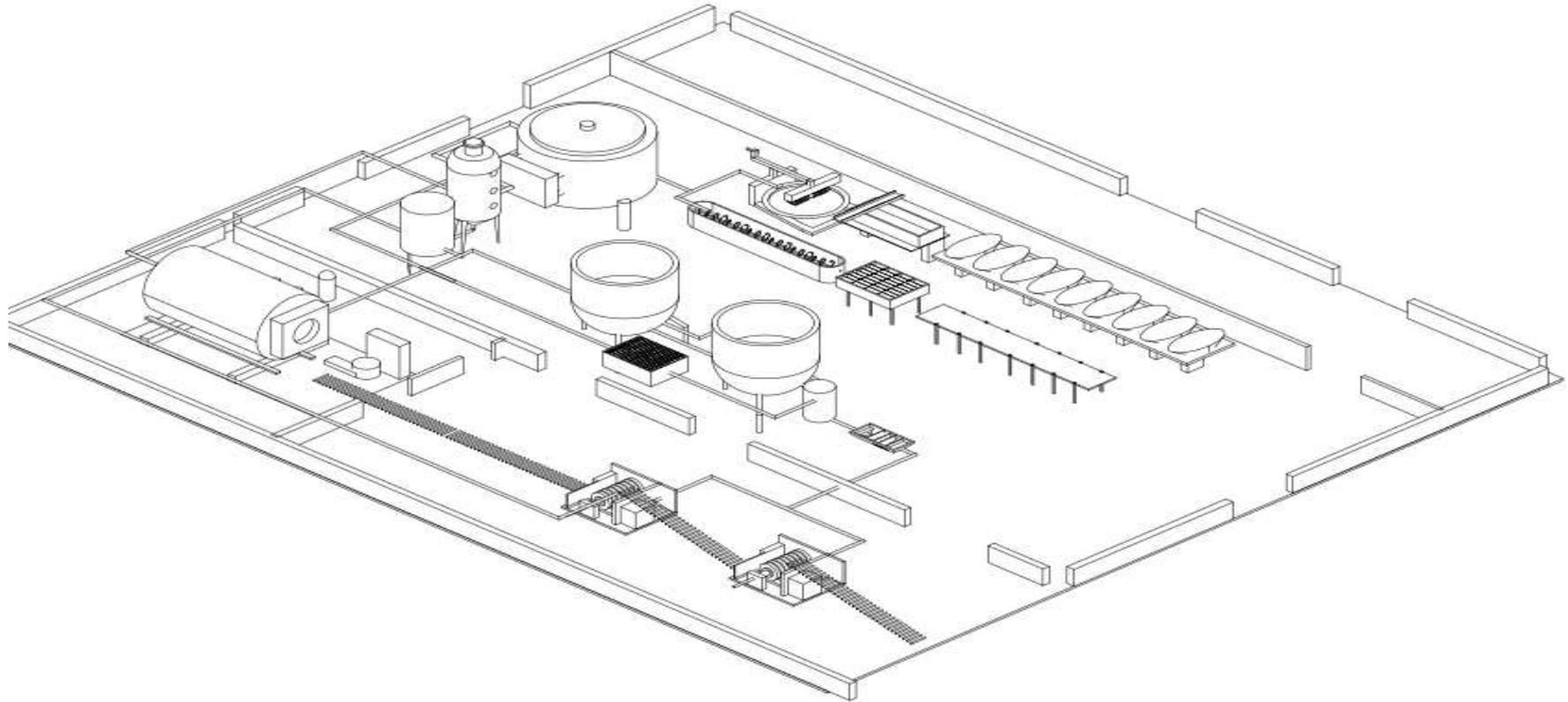


Ilustración 18: Diseño del proceso para la planta piloto (vista lateral)

Nota Fuente: Pita, L (2015). Diseño del proceso de la planta piloto, diseño elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

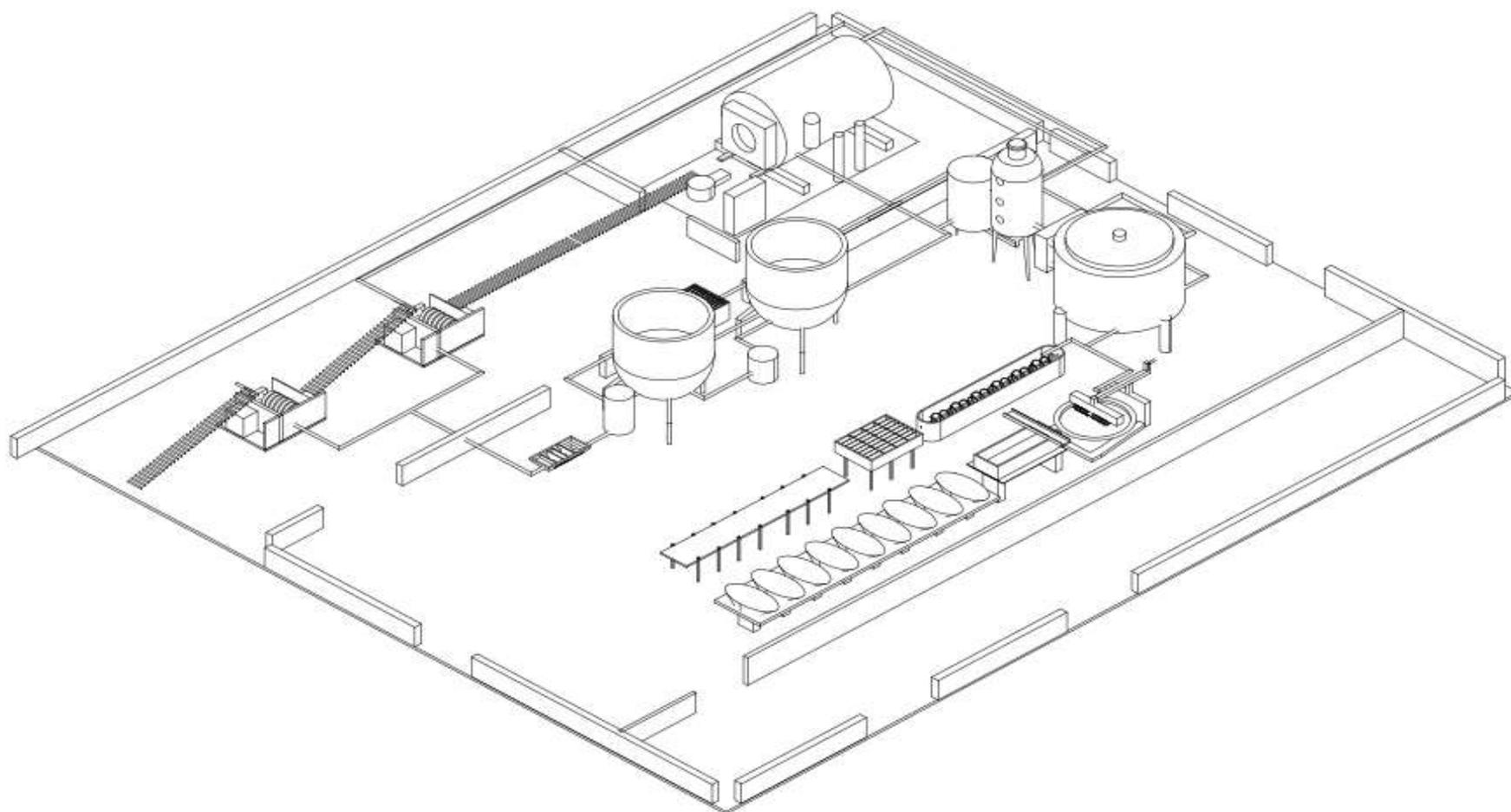


Ilustración 19: Diseño del proceso para la planta piloto (vista frontal)

Nota Fuente: Pita, L (2015). Diseño del proceso de la planta piloto, diseño elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

5.2.4. Comparativa del diseño del proceso propuesto con el proceso actual.

Tabla 25: Tabla comparativa del proceso actual y el proceso propuesto

Proceso	Sistema actual	Sistema propuesto	Observaciones
Molienda	Extracción en peso promedio del 60%. Extracción de sólidos del 60% en promedio. Elevada contaminación en el proceso. Alto riesgo para los operarios. Pérdidas de más del 40% de sólidos solubles	Disminución del riesgo de contaminación. Esta operación requiere una persona para control del proceso. Se aprovecha el vapor producido en la evaporación para imbibir el bagazo resultante del primer trapiche y así aumentar la extracción en peso hasta un 80 %	
Pre limpieza	Se emplea en la mayoría de paneleras pero no se le da un manejo adecuado. Está ubicado al aire libre, sin la protección adecuada que evite la contaminación del jugo. La prelimpieza no es efectiva y se tienen residuos hasta que aparecen en el producto final	Se sigue empleando el prelimpiador. Se ha ubicado en la parte interna de la planta. Es construido en acero inoxidable. La limpieza de los residuos sólidos debe ser efectiva.	
Clarificación 1	La tina está construida con latón. No se puede controlar la temperatura del jugo ni el volumen. La clarificación no deja el jugo limpio el jugo y las impurezas no son eliminadas en su totalidad. Se desperdicia altamente jugo de caña que es arrastrado con las impurezas.	La tina está construida en acero inoxidable. Se puede controlar la temperatura y los volúmenes. Se calienta los jugos con vapor. Se implementa un filtro que recoge la masa de impurezas, devolviendo el jugo de caña arrastrado a la tina. Y reteniendo las impurezas que deben desecharse	En el proceso actual y en el propuesto es necesario un solo operario para el manejo del proceso, la diferencia yace en el esfuerzo que el operario debe hacer en el proceso actual con jornadas

Clarificación 2	<p>La tina es construida con latón.</p> <p>No se puede controlar la temperatura, no se pueden controlar los volúmenes ni la concentración para pasar a la evaporación.</p> <p>Se realiza la limpieza de impurezas disueltas en el jugo empleando un clarificante natural (yausabara, <i>pavonia sepium</i>); sin embargo esta no es empleada adecuadamente y más bien contamina el jugo con impurezas físicas.</p> <p>La cachaza resultante de esta clarificación arrastra altas cantidades de jugo de caña.</p>	<p>La tina está construida en acero inoxidable.</p> <p>Se puede controlar la temperatura, los volúmenes y la concentración.</p> <p>Se calienta los jugos con vapor seco.</p> <p>Para la limpieza se seguirá empleando un clarificante natural pero se debe determinar las condiciones óptimas para su uso.</p> <p>La cachaza resultante de este proceso será colocada en el filtro de cachaza y el jugo arrastrado volverá a la tina de clarificación 1 y las impurezas desechadas.</p>	<p>superiores a las 8 horas y un desgaste físico elevado, un alto riesgo al manipular los jugos.</p> <p>En el proceso propuesto es requerido un solo operario que tiene funciones de control y decisión sin tener que hacer un esfuerzo físico elevado, seguro para el operario.</p> <p>En el proceso actual todas las tinas están ubicadas a nivel del piso, el piso es de tierra y las condiciones de la planta hacen que sea muy fácil que se contamine el producto final.</p> <p>Las tinas del proceso propuesto deben estar elevadas del nivel del suelo.</p> <p>El proceso actual está expuesto al ambiente y se contamina fácilmente</p>
Evaporación	<p>La evaporación se realiza en dos tinas abiertas.</p> <p>Las tinas están construidas en latón.</p> <p>No se puede controlar las temperaturas de evaporación.</p> <p>No se controla la concentración de ingreso de los jugos ni la concentración de salida de la miel.</p> <p>Se desconoce el consumo de energía de este proceso.</p>	<p>La evaporación se realiza en un evaporador cerrado.</p> <p>Debe ser construido en acero inoxidable,</p> <p>Permite controlar las condiciones de ingreso del jugo y salida de la miel.</p> <p>Tiene un bajo consumo de energía para la evaporación.</p>	<p>superiores a las 8 horas y un desgaste físico elevado, un alto riesgo al manipular los jugos.</p> <p>En el proceso propuesto es requerido un solo operario que tiene funciones de control y decisión sin tener que hacer un esfuerzo físico elevado, seguro para el operario.</p> <p>En el proceso actual todas las tinas están ubicadas a nivel del piso, el piso es de tierra y las condiciones de la planta hacen que sea muy fácil que se contamine el producto final.</p> <p>Las tinas del proceso propuesto deben estar elevadas del nivel del suelo.</p> <p>El proceso actual está expuesto al ambiente y se contamina fácilmente</p>
Concentración	<p>Esta tina es abierta y recoge la miel resultante de las dos tinas de evaporación sin un control de la concentración de ingreso.</p> <p>No se controlan las temperaturas de salida ni la concentración final, por lo que muchas</p>	<p>Se podrá controlar permanentemente desde el ingreso hasta la salida, tanto la temperatura así como la concentración.</p> <p>La tina es de acero inoxidable, cerrada y con agitación permanente.</p>	<p>superiores a las 8 horas y un desgaste físico elevado, un alto riesgo al manipular los jugos.</p> <p>En el proceso propuesto es requerido un solo operario que tiene funciones de control y decisión sin tener que hacer un esfuerzo físico elevado, seguro para el operario.</p> <p>En el proceso actual todas las tinas están ubicadas a nivel del piso, el piso es de tierra y las condiciones de la planta hacen que sea muy fácil que se contamine el producto final.</p> <p>Las tinas del proceso propuesto deben estar elevadas del nivel del suelo.</p> <p>El proceso actual está expuesto al ambiente y se contamina fácilmente</p>

	<p>veces la panela sufre degradación de su calidad.</p> <p>Se necesitan elevadas temperaturas de calentamiento para que se cumpla este proceso.</p> <p>La tina está a nivel del suelo</p>		<p>por agentes arrastrados por el viento.</p> <p>El vapor vegetal producido en el proceso actual se desperdicia disipándose en el ambiente.</p> <p>En el nuevo proceso la evaporación que es el proceso en el que más vapor vegetal se produce, es aprovechado este vapor empleándose para la imbibición del bagazo de caña en la fase de molienda.</p>
Batido (panela sólida)	<p>Este proceso se realiza en una tina de madera.</p> <p>El batido lo realizan dos personas empleando agitadores de acero y madera inadecuados para procesamiento de alimentos.</p> <p>La tina está ubicada bajo el nivel del suelo.</p>	<p>En este proceso se utilizará una máquina con aspas que bata la miel hasta su punto óptimo.</p> <p>Es necesario un solo operario para dar cumplimiento a esta operación.</p>	
Granulado	<p>Este proceso se realiza en una tina de madera.</p> <p>El batido lo realizan dos personas empleando agitadores de acero y madera inadecuados para procesamiento de alimentos.</p> <p>La tina está ubicada bajo el nivel del suelo.</p> <p>El uso de este equipo produce un grano</p>	<p>En este proceso se empleará un granulador de aspas.</p> <p>En este proceso es necesario un solo operario.</p> <p>El uso de un equipo granulador produce un grano de panela regular y disminuye la cantidad de residuos de reproceso.</p>	<p>El proceso actual está expuesto al ambiente y</p>

	irregular de panela y residuos de reproceso en exceso.	Se produce panela limpia que no tiene contacto con el personal.	la contaminación es elevada en esta parte que resulta ser la más sensible para la panela.
Moldeo (panela sólida)	<p>Los moldes empleados son de madera. Son manipulados inadecuadamente. No se controlan temperaturas ni se cuida la inocuidad del producto en esta etapa altamente sensible. Se desperdicia gran cantidad de producto que cae al suelo. La limpieza de los moldes se la hace con agua utilizada para el riego de los cultivos</p>	Los moldes empleados serán de madera por sus características de elasticidad que permiten el desmolde de la panela una vez enfriada, los cambios fundamentales en este proceso serán en la manipulación del producto, la limpieza de los moldes y el control de los tiempos de enfriamiento para evitar las pérdidas en reproceso del producto.	
Empaque	<p>Este proceso se lleva a cabo una vez enfriada la panela ya sea esta granulada o sólida, el enfriamiento se da al ambiente, altamente expuesta a contaminaciones. La manipulación de la panela es inadecuada. El material de los empaques es inadecuado para el cuidado del producto, su posterior transporte y manipulación.</p>	Se debe tener especial cuidado en el enfriamiento de la panela para evitar contaminaciones, además se debe controlar las temperaturas de empaque para prolongar el tiempo de duración de la panela. Los materiales y la manipulación del producto deben realizarse de acuerdo a las normativas de procesamiento de alimentos existentes.	
Almacenamiento	<p>El almacenamiento de la panela es en el mismo lugar donde se están evaporando los jugos, el producto está expuesto al ambiente, al vapor producido y a los gases de combustión del bagazo del horno. No se controla plagas que puedan deteriorar la panela.</p>	La panela debe ser almacenada en un espacio diferente al que se está procesando, debe permitir el control de plagas y la humedad del ambiente. Debe ser administrado de acuerdo a las normativas existentes.	

<p>Generación de calor</p>	<p>El calor con el que se calienta los jugos en cada una de las etapas del proceso es procedente de la combustión del bagazo. El bagazo debe ser secado al ambiente para poder ser combustionado. La cámara de combustión alcanza hasta los 900 °C para calentar las tinas. Se consume excesivamente energía para la evaporación de los jugos. Por la chimenea se expulsan gases de combustión altamente contaminantes. Esta operación es realizada por 4 personas tres que secan el bagazo y uno que quema el bagazo. Esta operación es riesgosa para el operario que está quemando la caña ya que está en contacto directo con las llamas a altas temperaturas. Los gases de combustión contaminan los jugos, las tinas están sobre la cámara de combustión y no existe ninguna separación entre estas dos partes del proceso.</p>	<p>El bagazo producido que sale de los trapiches pasa directamente al generador de vapor seco. Hace falta un solo operario que controle el proceso. El bagazo sale de los trapiches con una humedad adecuada para ser combustionado. Las temperaturas del caldero están controladas para calentar los jugos de acuerdo a la energía requerida por el sistema, disminuyéndose el consumo de energía. El generador está ubicado fuera de la planta de procesamiento, disminuyendo el riesgo de los operarios y sin contaminar la panela.</p>
----------------------------	--	--

Nota Fuente: Pita, L (2015). Comparativa del proceso actual y el proceso propuesto, elaborado por el autor (para disertación de pregrado).

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones.

- El actual proceso de producción de panela tiene pérdidas superiores al 48%.
- Los materiales de los equipos y utensilios, empleados en las plantas paneleras evaluadas no son adecuados para la producción de alimentos.
- En las agroindustrias paneleras evaluadas no existen manuales de proceso ni controles técnicos antes, durante y después de la producción.
- La planta con un diseño mejorado, y focalizado en la molienda permitirá mejorar el rendimiento, pasando del 52% al 72%.
- El diseño de la planta piloto plantea la implementación de un sistema de evaporación al vacío más eficiente, mientras que las plantas existentes emplean evaporación atmosférica,
- El diseño de la planta piloto propone la implementación de un sistema térmico a base de vapor, que permite un mejor control del proceso y brinda una mayor velocidad de respuesta.
- El diseño de la planta piloto está orientado para establecer manuales de proceso, control de calidad y uso eficiente de energía y recursos.
- La planta piloto deberá tener características de fácil de manejo y velocidad de respuesta.

Recomendaciones

- Realizar una investigación específica en los aglutinantes y floculantes que se emplean para la limpieza del jugo de caña, es un proceso que requiere ser optimizado en cuanto a las concentraciones del agente mucilaginoso y dosificaciones.
- Elaborar un plan de mejoras conjuntamente con el sector productivo para mejorar el proceso gradualmente y acompañados por un seguimiento científico.

Bibliografía

- [OCDE], O. p. (2003). *Manual de Frascati*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
- [OCDE], O. p. (2006). *Manual de Oslo*. TRAGSA.
- Aguilar, D. &. (2013). *Evaluación y optimización de la etapa de batido en el proceso de obtención de la panela granulada en la empresa panelera "La Gardenia", cantón Antonio ANte, Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Escuela de Ingeniería Agroindustrial.
- Aguilar, J. (25 de Febrero de 2013). La panela orgánica va al mercado checo. (M. Orozco, Entrevistador) Quito, Pichincha, Ecuador: Revista Líderes.
- Aguirre, M., & Poveda, C. (2015). *Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio*. Guayaquil : Escuela Politecnica del Litoral.
- Ahmed, J., & Shafuir, M. (2012). *Handbook of Food Processing Design*. New Dheli, India: Jhon Wiley & Sons.
- Baikow, E. (1982). *Manufacture and Refining of Raw Cane Sugar*. Amsterdam: Elsevier.
- Berk, Z. (2009). *Food Process Engineering and Technology* (first ed.). (S. Taylor, Ed.) Jerualem, Israel: Elsevier.
- Casp, A. (2005). *Diseño de industrias agroalimentarias*. Madrid, España: Ediciones Mundi- Prensa.

- Castellanos, F., Torres, M., & Flores, D. (2010). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnologico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia*. Bogota D,C.: MADR.
- Chand, K., Verma, K., & Kumar, A. (2014). Effect of Edible Coating on Quality Parameters of Jaggery During Storage. *Sugar Tech*, 80-85.
- Chejne, F., Agudelo, A., & Velásquez, H. (2004). Diagnóstico energético de los procesos productivos de panela en Colombia.
- Chen, J., & Chuo, C. C. (1993). *Cane Sugar Handbook- Manual for Cane Sugar Manufacturers and their chemists*. New York: Jhon Wiley & sons inc.
- Corrales, J. &. (2012). *Proyecto para la producción y comercialización de la panela molida de la provicnia de Cotopaxi*. Quito: Universidad Salesiana.
- de los Reyes, J. (2011). *Plan de implementación y desarrollo de buenas prácticas de manufactura en la elaboración de la panela granulada y en bloque en la planta panelera Gardenia*. Escuela Politécnica Nacional.
- Delden, E. (2013). *Standard Fabrication Practices for Cane Sugar Mills*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Díaz, A. (Octubre de 2012). Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), 53-57.
- Enriquez, O. (2004). *Análisis técnico de la agroindustria panelera en los cantones de Ibarra y Urcuqui*. Ibarra: Tesis de Ing. Agroind., Universidad Técnica Del Norte.

- Equipo Técnico del GAD municipal de Urcuquí. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial San Miguel de Urcuquí*. Urcuquí: Administración 2014 - 2015.
- Falconí, F. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir Del Ecuador 2013 - 2017*. Quito.
- Fiallos, F., & Quilambaqui, M. (2011). Reacción de 100 variedades de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) del Banco de Germoplasma del CINCAE, al Carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow), Roya (*Puccinia melanocephala* Sydow) y Mosaico (Sugarcane Mosaic Virus) en la zona del Cantón El Triunfo. *Revista de la facultad de ciencias de la producción ESPOL*.
- Flores, D. (abril-junio de 2013). Agenda prospectiva de investigación de la cadena productiva de la panela y su agroindustria. *Tecnura*, 17(36), 72-86.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina*. Roma: FAO.
- Gallardo, I., & Quezada, W. (sept-dic de 2014). Clarificación del jugo de caña mediante el empleo de plantas mucilaginosas. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 48(3), 41-48.
- García, H., & Peña, A. (2012). *Desarrollo de un sistema de evaporación de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productiva en la producción de panela*. CORPOICA.

- García, H., Albarracín, L., & Toscano, A. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera* (primera ed.). (H. García, Ed.) Tibaitatá, Cundimamarca, Colombia: Publimedios.
- Gómez, F. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Guaman, F., & Guamán, E. &. (2010). *Diseño, simulación y emulación de una planta productora de panela*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Guamán, F., Guamán, E., & Villaviciencio, H. (2015). *Diseño, Simulación y emulación de una planta productora de panela*. Guayaquil: Escuela Politecnica del Litoral.
- Guerra, M., & Mujica, M. V. (January- March de 2010). Physical and chemical properties of granulate cane sugar "Panelas". *Ciencia e Tecnología de alimentos*, 30(1), 250-257.
- Heldman, D. (2002). Prediction models for thermophysical properties of foods. En J. Irudayaraj, *Food Processing Operations Modeling*. Pennsylvania: Marcel Dekker.
- Heldman, D., & Hartel, R. (1997). *Principles of food processing* (first ed.). New York: 1997.
- Heldman, D., & Hartel, R. (1999). *Principles of Food Processing* (second ed.). New York, United States of America: Aspen Publishers.
- Henley, E., & Rosen, E. (1993). *Calculo de balances de materia y energía*. Barcelona: reverté.

- Hugot, E. (1986). *Handbook of cane sugar engineering* (Tercera ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Ibarz, A., & Barbosa, G. (2014). *Introduction to Food Process Engineering*. New York: Taylor & Francis Group.
- ICONTEC, I. C. (2009). *NTC 1311 PANELA*. Bogotá: ICONTEC.
- Irudayaraj, J. (2002). *Food Processing Operations Modeling*. New York: Marcel Dekker.
- Jenkins, H. (2013). *Introduction to Cane Sugar Technology*. Amsterdam: Elsevier.
- Kumar, A. (03 de 12 de 2010). An Empirical Study on Gur (Jaggery) Industry. *Research and publications Indian Institute Of Management Ahmedabad*.
- Londoño, P. (2014). *La tensión superficial del agua como variable en la extracción del azúcar residual en la caña de azúcar*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- MAGAP. (30 de octubre de 2015). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Obtenido de <http://www.agricultura.gob.ec/>
- Manrique, R., Insuasty, O., Mora, C., Rodríguez, G., Blanco, R., Mejía, L., . . . Sandoval, G. (2000). *Manual de caña de azúcar para la producción de panela* (Segunda ed., Vol. 1). (O. Parra, & H. Páez, Edits.) Bucaramanga: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Manrique, R., Prada, L., & Aguiar, S. (2001). *Producción de panela, miel y otros usos en el piedemonte llanero*. Yopal: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

- Maroulis, Z., & Saravacos, G. (2003). *Food Process Desing*. New York, USA: Marcel Dekker.
- MCPEC. (06 de 2011). *Agendas para la transformación productiva territorial: provincia de Imbabura*. Obtenido de <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-IMBABURA.pdf>
- Mendieta, O., Nieves, J., Valero, E., Chavez, A., & García, H. (Jul-Dic de 2011). Ahorro de combustible y energía en hornos usados para la elaboración de panela modificando el diseño de pailas abiertas. *El Reventón Energético*, 9(2), 53-61.
- Mendoza, M. (2007). *Dossie Técnico de Procesamiento de Raspadura (Panela)*. Centro de apoyo al desenvolvimiento Tecnológico.
- Mosquera, S., & Villada, H. (Marzo de 2007). Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del Cauca. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 5(1), 18-27.
- Motoya, C. F. (2009). *Propuesta de diseño de planta de procesamiento para la elaboración de la panela*. Antioquia: Universidad Nacional de Colombia. facultad de Minas.
- Mujica, M. V., Guerra, M., & Soto, N. (Agosto de 2008). Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de panela granulada. *Interciencia*, 33(18), 598-603.
- Navarro, E., & Romero, L. (2010). Dimensionamiento de los cuerpos de un sistema de evaporación de múltiple efecto para la producción de mieles a partir de jugos de caña de azúcar. Bucaramanga, Colombia.

- NTE INEN 2331, I. E. (15 de Abril de 2002). *Panela sólida. Requisitos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Osorio, G. (2007). *Buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manufactura en la producción de caña y panela* (primera ed.). Medellín, Valle del Cauca, Colombia: CTP Print Ltda.
- Palacios, L., Tapias, H., & Saldarriaga, C. (2005). *Métodos y algoritmos de diseño en ingeniería química*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Panda, H. (2011). *The Complete Book on Sugarcane Processing and By-Products of Molasses*. Delhi: Asia Pacific Business Press.
- Payne, J. (1996). *Unit Operations in Cane Sugar Production*. Amsterdam: Elsevier.
- Pérez, A. (2014). *PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PANELA Y SU APLICACIÓN A PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL CASO COLOMBIANO*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Perry, R., & Chilton, C. (1994). *Manual del Ingeniero Químico* (Vol. III). México: McGraw Hill.
- Peter, C. (2002). Food Plant Design. En C. Peter, *Food Engineering* . Oak Park: Life Support Systems.
- Posso, M. (2011). *Proyectos, Tesis y Marco Lógico*. Ibarra.
- Prada, L. (2002). *Mejoramiento en calidad de Miel y Panela*. Bogotá D. C.: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

- Pro Ecuador. (2013). *Perfil sectorial de agroindustria para inversiones*. Quito: Ministerio de Comercio Exterior.
- Quezada, F. (2006). *Guía Técnica de Agroindustria Panelera*. Ibarra.
- Quezada, W. (2014). *Clarificación del jugo de caña mediante el empleo de plantas mucilaginosas*. La Habana : ICIDCA.
- Rodríguez, G., García, H., Roa, Z., & Santacoloma, P. (2004). *Producción de panela como estrategia e diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina*. Roma: FAO.
- Rojas, J. (1998). *Filanejo y postcosecha de la caña panelera*. San José de Fragua: CORPOICA.
- Sáenz, D. (2013). *Industrialización de la panela granulada orgánica en una planta de producción, ubicada en la parroquia Salinas del cantón Ibarra* . Quito: Universidad de las Américas.
- Santamaría, H. (2012). Evaluación mediante indicadores productivos y energéticos de tres módulos de producción de panela granulada. Piura.
- Saravacos, G., & Kostaropoulos, A. (2002). *Handbook of Food Processing Equipment* (primera ed.). (G. Barbosa, Ed.) New York, United States of America: Springer Science Business Media.
- Saravacos, G., & Maroulis, Z. (2011). *Food Process Engineering Operations* (primera ed.). (D.-W. Sun, Ed.) Boca Ratón, Florida, United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group.

- SENPLADES. (2012). *Transformación de la Matriz Productiva del Ecuador*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Comunicación. Quito: ediecuatorial.
- Singh, A. K., & Singh, J. (Junio de 2012). Performance of animal operated sugarcane crushers. *Indian Journal of Sugarcane Technology*, 11-14.
- Singh, R., & Heldman, D. (2009). *Introduction to food engineering* (Fourth ed.). San Diego, California, UUEE: Elsevier.
- Singh, S., Dubey, A., Tiwari, L., & Verma, A. (2009). Microbial profile of stored jaggery: A traditional Indian sweetener. *Sugar Tech*, 213-216.
- Singh, S., Nigam, A., & Singh, R. (2013). Influence of Rind Hardness on Sugar Cane Quality. *Scientific Research*, 45-52.
- Smith, P. (2002). *Introduction to Food Process Engineering*. New York: Kluwer Academic.
- Soler, J., & Gómez, F. (2004). Determinación de los parámetros de diseño y operación de las cámaras de combustión tipo Ward-CIMPA y Plana - CIMPA en hornillas paneleras. *Tesis de maestría*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Sotomayor, J. (2004). *DISMINUCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR. INGENIO SAN CARLOS*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil - Facultad de Ingeniería Industrial.
- Velásquez, H., Janna, F., & Agudelo, A. (2006). Diagnostico exergetico de los procesos productivos de panela en Colombia. *Revista energética*, 15-22.

Villalba, R., Uribe, A., Gómez, R., Mora, J., Rey, J., & Londoño, L. (2000). *Manual de Caña de Azúcar Para Producción de Panela*. Bucaramanga: CORPOICA.

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica de levantamiento de información

Objetivo general:

Sintetizar información para diagnosticar la situación actual de las agroindustrias paneleras en Imbabura.

Objetivos específicos:

- Sintetizar información de la ubicación, infraestructura, y servicios generales de las agroindustrias paneleras
- Sintetizar información de las materias primas e insumos empleados en las agroindustrias paneleras.
- Sintetizar información de la tecnología utilizada en la agroindustria panelera

DESARROLLO DE LA FICHA TÉCNICA:

a) Datos generales de la empresa

Nombre del propietario					
Nombre de la empresa					
Fecha					
Experiencia					Años
Uso de la tecnología					Años
Tipo de planta		Fija			Móvil
Estructura					
Horas de operación					
Manual de operaciones		Si		No	n/e
Operarios					
Procesamiento semanal (MP)					Ton
Producción semanal (PF)					qq
Abastecimiento(MP)					
Distribución (PF)					

b) Ubicación y servicios generales

Ubicación geográfica		
Altura		msnm
Temperatura ambiente		°C
Disponibilidad de agua potable		
Disponibilidad de energía eléctrica		

c) MATERIA PRIMA

CAÑA DE AZÚCAR		
VARIEDAD		
EDAD		meses
MADUREZ REAL		%
Brix		
pH		

d) TECNOLOGÍA EN LOS PROCESOS

MOLIENDA					
CAPACIDAD					kg/h
FLUJO DE JUGO					l/h
EXTRACCIÓN					%
PERSONAL REQUERIDO					
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1
MOTOR					
POTENCIA DEL MOTOR					HP
JUGO DE CAÑA					
SOLIDOS TOTALES					°Bx
Ph					
DENSIDAD					g/ml
TEMPERATURA					°C

PRELIMPIEZA			
EXISTE		Si	No
TIPO DE FILTRO			

DESCACHAZADO(tina 1)					
MEDIDAS cm.		A		L	H
CAPACIDAD					m ³
CAPACIDAD UTILIZADA					m ³
T DE CONTACTO					°C
T DEL JUGO (max)					°C
SOLIDOS TOTALES DEL JUGO (max)					°Bx
DENSIDAD					g/ml
pH					
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1
DESECHOS(vol.)					m ³
MANEJO DE LOS DESECHOS					
PERSONAL REQUERIDO					

COLADORA DESCACHAZADO 2 (tina 2) jugo					
MEDIDAS cm.		A		L	H
CAPACIDAD					m ³
CAPACIDAD UTILIZADA					m ³
MATERIAL					
T DE CONTACTO					°C
T DEL JUGO (max)					°C
BRIX DEL JUGO (max)					°Bx
pH					
DENSIDAD					g/ml
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1
DESECHOS					m ³

EVAPORACIÓN (tina 3) jarabe					
MEDIDAS cm.		A		L	H
CAPACIDAD					m ³
CAPACIDAD UTILIZADA					m ³
MATERIAL					
T DE CONTACTO					°C
T DEL JARABE (max)					°C
BRIX DEL JARABE (max)					°Bx
Ph					

DENSIDAD						g/ml
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1	

CONCENTRACIÓN (tina 4) miel						
MEDIDAS cm.		A		L		H
CAPACIDAD						m ³
CAPACIDAD UTILIZADA						m ³
MATERIAL						
T DE CONTACTO						°C
T DE LA MIEL (max)						°C
BRIX DE LA MIEL (max)						°Bx
Ph						
DENSIDAD						g/ml
PERSONAL REQUERIDO						
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1	

PUNTEO (tina5) masa						
MEDIDAS cm.		A		L		H
CAPACIDAD						m ³
CAPACIDAD UTILIZADA						m ³
MATERIAL						
T DE CONTACTO						°C
T DE LA MASA(max)						°C
BRIX DE LA MASA (max)						°Bx
pH						
PERSONAL REQUERIDO						
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1	

BATIDO						
MEDIDAS cm.		A		L		H
CAPACIDAD						m ³
CAPACIDAD UTILIZADA (med)						m ³
MATERIAL						

Para completar las siguientes matrices se deberá diferenciar de acuerdo al tipo de panela que se produce:

- **PANELA GRANULADA:**

BATIDO						
T DE INGRESO						°C
T DE SALIDA						°C
INSUMOS						
TECNOLOGÍA UTILIZADA						
PERSONAL REQUERIDO						
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1	
CANTIDAD PRODUCIDA						Kg
PERDIDAS						Kg
RIESGO DE CONTAMINACIÓN		Alto		Medio		Bajo

- **PANELA SÓLIDA**

BATIDO						
T DE INGRESO						°C
T DE SALIDA						°C
INSUMOS						
TECNOLOGÍA UTILIZADA						
PERSONAL REQUERIDO						
NIVEL DE RIESGOS	5	4	3	2	1	
PRESENTACIÓN						
PESO INDIVIDUAL						
CANTIDAD PRODUCIDA						Kg
PERDIDAS						Kg
RIESGO DE CONTAMINACIÓN		Alto		Medio		Bajo

EMPAQUE						
T DE INGRESO						°C
TIPO DE EMPAQUE						
PERSONAL REQUERIDO						
CONTENIDO						u/p
PESO (paquete)						
CANTIDAD PRODUCIDA						p/h
PERDIDAS						Kg
RIESGO DE CONTAMINACIÓN		Alto		Medio		Bajo

ALMACENAMIENTO						
T AMBIENTE						°C
UBICACIÓN EN LA PLANTA						
RIESGO DE CONTAMINACIÓN		Alto		Medio		Bajo

CÁMARA DE COMBUSTIÓN		
MATERIAL DE COMBUSTIÓN		
CANTIDAD DE MATERIAL DE COMBUSTIÓN		Kg
TEMPERATURA EN LA BOCA		°C
TEMPERATURA EN LA CHIMENEA		°C
CONTROL DE TEMPERATURAS		
PERSONAL REQUERIDO		

Anexo 2. Levantamiento de información



Ilustración 20 Fábrica Panelera visitada Mesías Yépez

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Fábrica panelera de Mesías Yépez perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 21 Fábrica panelera visitada Marco Montalvo

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Fábrica panelera de Marco Montalvo, perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 22 Fábrica panelera visitada Gustavo Yépez

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Fábrica panelera de Gustavo Yépez, perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 23. Fábrica panelera visitada Antonio Montalvo

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Fábrica panelera de Antonio Montalvo, perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 24. Molienda de la caña de azúcar en proceso actual

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Molienda de caña de azúcar fábrica panelera de Mesías Yépez perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 25. Molienda de caña de azúcar vista frontal.

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Molienda de caña de azúcar fábrica panelera de Mesías Yépez perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 26. Filtro de prelimpieza del jugo de caña.

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Filtro de prelimpieza del jugo de caña de la fábrica panelera de Marco Montalvo perteneciente al grupo de paneleras identificados y diagnosticados hasta el 30 de noviembre del 2014.



Ilustración 27. Filtro de prelimpieza 2

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Filtro de prelimpieza fábrica panelera con mal manejo, manchas de aceite, (para disertación de pregrado).



Ilustración 28. Cachaza negra de la tina de clarificación 1

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Cachaza negra del jugo de caña proveniente de la tina de clarificación 1, fábrica panelera con mal manejo, (para disertación de pregrado).



Ilustración 29: Medición de grados Brix en los jugos



Ilustración 30. Cachaza blanca de la tina de clarificación 2.

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Cachaza blanca del jugo de caña proveniente de la tina de clarificación 2, extracción de impurezas disueltas en el jugo, (para disertación de pregrado).



Ilustración 31, Extracción de cachaza blanca tina de clarificación 2.

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Cachaza blanca del jugo de caña proveniente de la tina de clarificación 2, extracción de impurezas disueltas en el jugo, (para disertación de pregrado).



Ilustración 32: Medición de temperaturas



Ilustración 33: Tinas de evaporación

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Tinas de evaporación de la planta panelera de Freddy Gordillo, (para disertación de pregrado).



Ilustración 34: Tinajas de evaporación y manejo de los jugos

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Manejo del jugo de caña y miel en la planta panelera de Mesias Yépez, (para disertación de pregrado).



Ilustración 35: Tinajas de evaporación y de concentración

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Evaporación de miel y concentración de la panela, (para disertación de pregrado).



Ilustración 36: Tina de punteo

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Miel en la tina de concentración hasta el punto de panela, (para disertación de pregrado).



Ilustración 37: Salida de la panela para enfriamiento y batido

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Punto máximo de concentración de la panela, se quema por la elevada concentración y las deficiencias del proceso, (para disertación de pregrado).



Ilustración 38: Tina de batido de la panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Tina de batido de la panela se evidencia la contaminación del producto y las deficientes condiciones para el procesamiento, (para disertación de pregrado).



Ilustración 39: Batido de la panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Panela durante el proceso de batido, (para disertación de pregrado).



Ilustración 40: Panela luego del enfriamiento y batido

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Manejo de la panela y los equipos luego del batido y enfriamiento de la miel, (para disertación de pregrado).



Ilustración 41: Moldeo de la panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Moldeo de la masa de panela para enfriamiento, (para disertación de pregrado).



Ilustración 42: Moldes de panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Moldes listos para recibir la panela, es notoria la mala limpieza de los equipos, (para disertación de pregrado).



Ilustración 43: Enfriamiento de la panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Enfriamiento de la panela colocada en los moldes previo a su desmoldeo, (para disertación de pregrado).



Ilustración 44: Piezas de moldes en el tanque de limpieza

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Tinas con agua en las que se colocan las partes desmontables de los moldes para limpieza, (para disertación de pregrado).



Ilustración 45: Panela, previo al empaque

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Panela enfriándose previo a su empaque, expuesta al ambiente, (para disertación de pregrado).



Ilustración 46: Empaque de panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Panela empacada en cajas manipulada por los operarios, (para disertación de pregrado).



Ilustración 47: Almacenamiento de panela expuesta al ambiente

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Panela empacada almacenada junto al área de producción sin la condiciones mínimas de almacenamiento (Para disertación de pregrado).



Ilustración 48: Almacenamiento de panela

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Almacenamiento de panela en condiciones de humedad y expuesta al ambiente, (para disertación de pregrado).



Ilustración 49: Cámara de combustión del bagazo

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Cámara de combustión de bagazo, contacto del fuego directamente con las tinas, (para disertación de pregrado).



Ilustración 50: Alimentación de bagazo a la cámara de combustión.

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Operario alimentando bagazo a la cámara de combustión, (para disertación de pregrado).



Ilustración 51: Salida de gases de combustión por la chimenea.

Nota Fuente: Pita, L. (2015). Chimenea por la que salen los gases de combustión del bagazo, (para disertación de pregrado).