

**Universidad Central Marta Abreu de Las Villas
Facultad de Química-Farmacía
Departamento de Ingeniería Química**



**Tesis presentada en opción al Grado Científico de
Doctor en Ciencias Técnicas
Especialidad Ingeniería Química**

**Procedimiento para la intensificación y reconversión de
instalaciones paneleras**

Autor: MSc. Ing. Walter Francisco Quezada Moreno

**Santa Clara
2014**

**Universidad Central Marta Abreu de Las Villas
Facultad de Química-Farmacia
Departamento de Ingeniería Química**



**Tesis presentada en opción al Grado Científico de
Doctor en Ciencias Técnicas
Especialidad Ingeniería Química**

**Procedimiento para la intensificación y reconversión de
instalaciones paneleras**

Autor: MSc. Ing. Walter Francisco Quezada Moreno

Tutor: Dra. C. Irenia Gallardo Aguilar

**Santa Clara
2014**

DEDICATORIA

DEDICATORIA

***TODOS TENEMOS UNA HISTORIA, CONTARLA Y ESCUCHARLA ES DE
SABIOS, PUES, ENRIQUECE EL ALMA.***

A mis hijos Walter David, Diana Carolina y Daniela Viviana; razón de mi vida.

A mi esposa Marcia Judith, por su apoyo incondicional.

A mi madre Carmen María, por la luz, vida y amor.

Por la memoria de mi padre, y sé que en algún lugar siempre estará conmigo.

A mis hermanos, por entenderme y aprecio entregado.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTO

A la Dra. C. Irenia Gallardo, tutora del trabajo por la asistencia a la revisión del documento.

Al Dr. Cs. Erenio González, por su apoyo incondicional y precisiones al trabajo.

A los Doctores oponentes de la pre-defensa, delegados de la revisión del documento final y miembros del tribunal, que contribuyeron a perfeccionar la investigación.

A los doctores en los nombres de: Gretel, Elena Rosa, Ana Margarita, Marlén, Jesús, Juan Pedro, Julio, Manuel Peralta, Diana,..., por sus aportes y enseñanzas en los momentos oportunos.

A los docentes de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, que de alguna u otra manera con su bondad y generosidad, me asistieron con sugerencias al trabajo.

A todos, GRACIAS, mil gracias.

SÍNTESIS

SÍNTESIS

En el trabajo se plantea un procedimiento para la intensificación y reconversión de instalaciones con aplicación directa al sector agroindustrial panelero en Ecuador.

Se elabora un diagrama heurístico, como herramienta orientadora en la toma de decisiones.

Primeramente, se propone la intensificación de procesos en todas las etapas de producción de panela.

Se evalúan nuevas plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo incorporando la variable turbidez como criterio de calidad.

Se obtiene un nuevo producto, miel hidrolizada en la etapa de evaporación-concentración.

Se determinan las curvas de temperatura de punteo para los diferentes productos en función de la concentración según la altura de ubicación de la industria.

Se propone batido mecánico de la miel para azúcar natural y se aprovechan los conglomerados formados mediante secado y desintegración.

Se evalúa y propone el color como medida de calidad sensorial en la aceptación o rechazo del producto; para ello se elabora un abanico colorimétrico como herramienta de control de calidad para la presencia de azufre en los tres productos.

Se analizan alternativas de reconversión, considerando la diversificación de las producciones y el aprovechamiento integral de los subproductos.

Se evalúa ambientalmente el proceso actual y con la propuesta de reconversión utilizando la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Se obtienen capacidades mínimas rentables de producción para esta actividad en las actuales condiciones y para instalaciones reconvertidas.

Las propuestas de intensificación y reconversión aportan resultados positivos técnicos y económicos sustentados en una investigación documental-experimental con métodos modernos de análisis, hacia una agroindustria panelera dinámica, eficiente y amigable con el medio ambiente.

ÍNDICE

INDICE	Págs.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA	5
1.1 La panela de caña de azúcar.	5
1.1.1 Composición y calidad de la panela.	6
1.2 Descripción del proceso de producción de panela.	7
1.3 Vigilancia tecnológica de la agroindustria panelera.	13
1.3.1 Producción de panela a nivel internacional.	15
1.3.2 Cadena de comercialización de la panela.	15
1.4 Gestión tecnológica en la industria química.	16
1.4.1 Gestión tecnológica. Funciones y herramientas.	17
1.4.2 Necesidades de gestión tecnológica en la agroindustria panelera.	19
1.5 Intensificación de proceso como vía de desarrollo tecnológico en la industria panelera	20
1.5.1 Especificaciones de la intensificación de procesos.	20
1.5.2 Consideraciones para la industria panelera.	21
1.6 La reconversión de procesos en la industria química.	22
1.6.1 Criterios a considerar para la industria panelera.	23
1.7 Estrategias para la evaluación del impacto ambiental en la agroindustria panelera	25
1.7.1 Evaluación ambiental a partir del Análisis de Ciclo de Vida.	26
1.7.2 Consideraciones para la industria panelera	28
1.8 Estrategia de gestión para la intensificación y reconversión de la agroindustria panelera en el Ecuador	29
Conclusiones parciales capítulo 1	31
CAPÍTULO 2 ESTUDIOS DE INTENSIFICACIÓN EN LA AGROINDUSTRIA PANELERA	32
2.1 Introducción.	32
2.2 Diagnóstico en la instalación industrial.	33
2.2.1 Balance de masa y energía de la panelera.	35
2.2.2 Evaluación ambiental de la panelera.	37
2.3 Propuestas de intensificación en el proceso de producción de panela.	41
2.3.1 Etapa de extracción y limpieza del jugo de caña.	42
2.3.2 Etapa de clarificación.	43
2.4 Intensificación en las etapas de evaporación y concentración	50
2.4.1 Producción de miel hidrolizada.	50
2.4.2 Determinación de las temperaturas de punteo.	55
2.5 Propuesta de batido mecánico de la miel.	57
2.6 Secado y desintegración de conglomerados en el azúcar natural.	61
2.7 Incorporación del color como parámetro de control de la calidad de los edulcorantes en la industria panelera.	65

Conclusiones parciales capítulo 2	69
CAPÍTULO 3. RECONVERSIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA AGROINDUSTRIA PANELERA	70
3.1 Necesidades de reconversión de la agroindustria panelera.	70
3.2 Evaluación técnica de las alternativas tecnológicas para la reconversión	72
3.2.1 Extracción de aceites esenciales para aromatización de los edulcorantes.	74
3.2.2 Aprovechamiento de la cachaza panelera y bagazo	77
3.2.3 Secado del bagazo	79
3.3 Análisis del ciclo de vida con la intensificación y reconversión	84
3.4 Evaluación económica del impacto de la intensificación y reconversión en la agroindustria panelera.	90
3.4.1 Análisis del impacto en la agroindustria panelera sin reconversión	94
Conclusiones parciales capítulo 3	95
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	

CAPÍTULO 1 ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA.

1.1 La panela de caña de azúcar.

La panela es un azúcar no centrifugado, nombre usado técnicamente por la Food and Agriculture Organization, FAO (**Jaffé, 2012**). Es un edulcorante natural constituido mayormente por sacarosa y en pequeña proporción, glucosa, fructosa, minerales y otros compuestos. Se obtiene mediante la concentración del jugo de la caña de azúcar, en micro y pequeñas factorías rurales llamadas paneleras o trapiches. La panela es única no solo por sus nutrientes y vitaminas, sino por el olor y sabor característico, pero por su manipulación es uno de los menos higienizados del sector (**Atehortua, 2012; Lara, 2010; Álvarez, 2004**).

En el Ecuador se produce panela y azúcar natural o panela granulada especialmente, siendo los productos clasificados: panela, panela en polvo y concentrado de panela (**Espinal, 2005**).

La panela granulada es un producto obtenido de la concentración del jugo de caña a temperatura de 124 a 126 °C, que reposa y tamiza (**Segura & Rodríguez, 2006; Mújica, 2007**). La panela granulada se abre paso en el mercado por sus características propias en presentación e inocuidad, en cantidades de 50 y 45 kg, con 250, 500 y 1000 gramos (**Aragón, 2009; Tufiño, 2012**).

La panela tiene varios tipos de denominaciones, tales como: chancaca, raspadura, piloncillo, atado, papelón, dulce, batido, panela de cachaza y jaggery, en algunos países de América Latina y Asia. Las hay en forma de atados, ladrillos o bloques ya sea cuadrados o rectangulares, panelones y otras formas redonda, cresta triangular, pastilla; con una masa de 250, 500, 1000 gramos y superior (**Fernández, 2003; Pérez & Ablan, 2008; MIPRO, 2009; 2010 Aragón, 2009; Castellanos, 2010; Kiran et al, 2013; Singh et al, 2013**).

La panela en cualquiera de sus presentaciones se utiliza en la preparación de bebidas refrescantes (jugos), bebidas calientes (café, chocolate o aguas aromáticas), salsas para carnes, conservas de frutas, verduras, y en otras actividades relacionadas

con la panadería: galletas, bizcochos, entre otros. También es reconocido la utilización de este alimento como materia prima en procesos industriales, tales como elaboración de bocadillos, mermeladas, jaleas, frutas en almíbar, cascotes de naranjas, mieles, siropes y bebidas gaseosas, en confitería y panadería (**Villamizar, 1997; Prada, 1999; Sandoval, 2004**)

Además, debido a las propiedades medicinales que tiene la panela, se emplea en la medicina tradicional como cicatrizante natural de úlceras periféricas, para controlar y aliviar los resfriados, para curar la indigestión e incluso el estreñimiento (**Álvarez, 2004**).

1.1.1 Composición y calidad de la panela.

La norma ecuatoriana define la panela y panela granulada, como el producto obtenido de la evaporación y concentración de los jugos de la caña de azúcar, moldeada en varias formas con diferentes tonos de amarillo, pardo o pardo oscuro, con sabor y olor característicos (**INEN, 2002 a, b**). Es un producto sólido en cualquier forma y presentación, proveniente de la evaporación del jugo de caña de azúcar sin centrifugar, que contiene microcristales anhídridos no visibles al ojo humano, manteniendo sus elementos constitutivos como sacarosa, glucosa y minerales (**INCOTEC, 2009; Mujica, 2007**). En la tabla 1.1 se muestra la composición química de la panela y azúcar natural o panela granulada en gramos /100 gramos de producto (**De los Reyes, 2011**).

Tabla 1.1. Composición de panela y panela granulada o azúcar natural.

Componentes	Panela	Panela granulada
Carbohidratos, g/100g	88,3	97,0
Sacarosa, g/100g	79,4	89,58
Azúcares invertidos, g/100g	8,5	6,0
Cenizas, g/100g	1,29	1,7
Potasio, mg/100g	116,7	535,0
Calcio, mg/100g	172,8	170,0
Magnesio, mg/100g	61,7	29,0

La humedad es un criterio de calidad muy importante y se considera aceptable en el mercado nacional en el orden de 2 a 3% de humedad. El color es atracción sensorial y factor predominante en la calidad de la panela y en la India es usado como criterio de directo de clasificación de este producto (**Mujica, 2007; Guerra, 2009; Ronda,**

2010). En la tabla 1.2 se presenta los requisitos de panela y azúcar natural (panela granulada) (INEN, 2002a; b).

Tabla 1.2. Requisitos de la panela y panela granulada según el Instituto Nacional de Normalización del Ecuador (INEN).

Componente	Panela		Panela granulada	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Humedad, %	-	7	-	3
pH	-	5,9	-	5,9
Color T (nm)	30	75	30	75
Azúcar reductor	5,5	10	5,5	10
Sacarosa %	75	83	75	83
Clasificación	Sólidos sedimentables		Sólidos sedimentables y granulometría	
Extra	0,1		0,1/100g	1,4
Primera	0,5		0,5/100g	1,7
Segunda	1		1/100g	2

El color como medida de calidad, la industria azucarera lo expresa en unidades ICUMSA (Mosen, 2007; Rein, 2007). El color puede generarse por varios factores que van desde los propios pigmentos del producto, efectos del proceso, reacciones, otros. A temperaturas superiores de 80°C y pH excesivos, en la sacarosa aparecen se evidencia el color por efectos de reacciones químicas. ICUMSA también reconoce otros dos métodos de caracterización del color en el cristal de azúcar según la reflectancia y apariencia visual según el tipo de color, pero ninguno de éstos normalmente se usa en el proceso de azúcar, como base de medida en los Estados Unidos (Rein, 2007).

Una limpieza correcta de los jugos de la caña influye positivamente en la calidad de la miel, panela y azúcar y en los costos de producción. Al reducir la cantidad de sólidos insolubles se mejora el color y la presentación (Prada, 2002). Los índices de calidad de la panela y del azúcar natural se encuentran normalizados, pero no son cumplidos en su mayoría en las plantas productoras que orientan el producto a mercados populares, por lo que se requiere un control en la tecnología y la calidad del producto para mejorar la competitividad de este sector en el mercado.

1.2 Descripción del proceso de producción de panela.

Para que exista agroindustria panelera (AIP), debe haber producción agrícola, transformación y comercialización (Osorio, 2007; Carlosama, 2009). El proceso tecnológico panelero está dividido en cinco áreas fundamentales: Patio de caña y

bagazo, extracción y limpieza, clarificación y concentración, batido, moldeo y almacenamiento de panela, tal como se indica en la figura 1.1.

Existen paneleras donde el proceso se realiza en dos tinas y las etapas son: extracción, concentración, batido, moldeo y empaque. Otras siete tinas para obtener panela (FUNACH-ASCAPAM, 2002; Castellanos, 2010; Mosquera, 2007). El proceso de elaboración de panela general en los países productores es similar. Todo este proceso es manual y puede emplear entre cinco y catorce personas, dependiendo del tamaño de la producción (Rodríguez & Gottret, 2009).

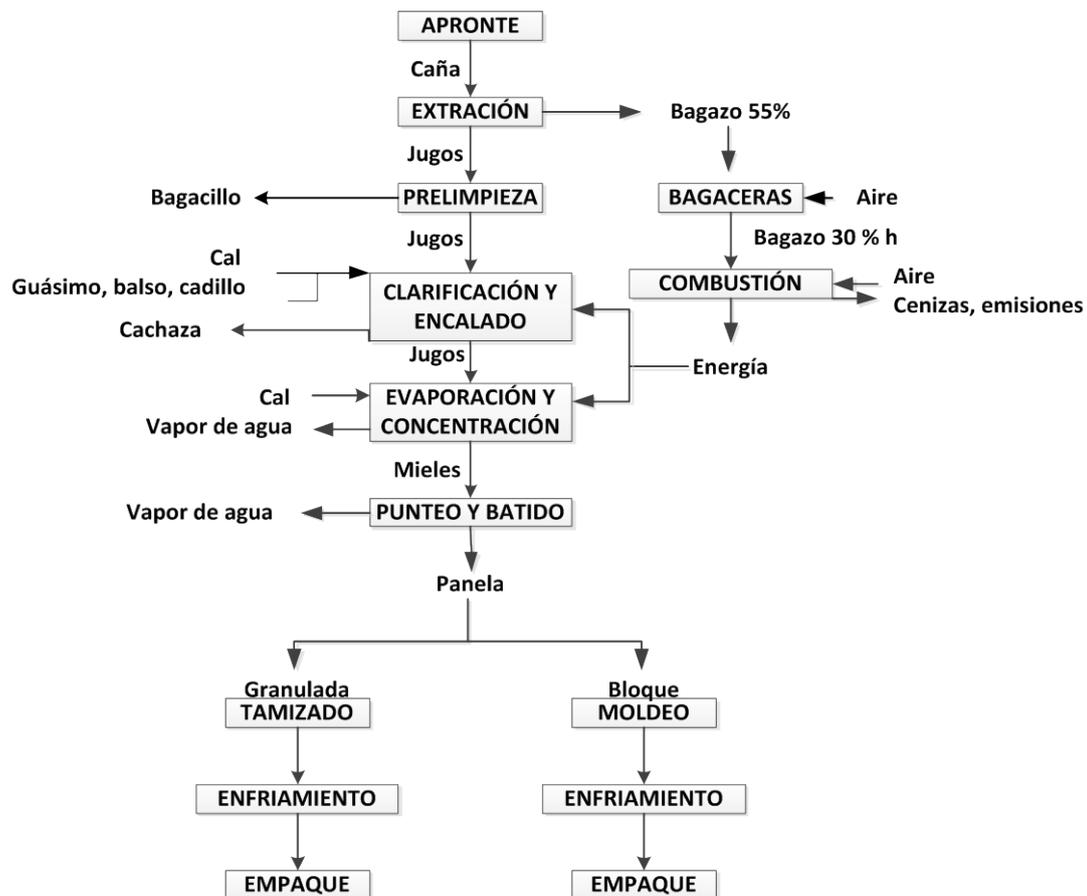


Figura 1.1. Diagrama de proceso de panela y panela granulada o azúcar natural.

En términos generales, el proceso de elaboración de panela se inicia con concentraciones de jugos entre 18 a 22°Brix y termina a concentraciones de 90°Brix. Sin embargo, por encima de estos valores, existen otros factores como limpieza de la caña y jugo, uso de clarificadores naturales, temperatura de descachazado, pH, concentración, tiempo y velocidad de batido que determinan la calidad del producto final (miel, panela y azúcar) libre de impurezas, con excelentes características de sabor y color (Castellanos, 2010). Es de destacar, que no existen

diferencias marcadas entre variedades de caña para panela o azúcar, sólo existen diferencias en tecnologías de producción y la función objetivo del sistema.

- **Etapas de apronte.**

La etapa de apronte comprende actividades de corte, recolección, transporte y almacenamiento de caña en el trapiche o fábrica. **(Quizanga, 2009).**

Antes del corte, es necesario determinar el estado o índice de madurez de la caña debiendo cumplir con valores entre 0,95 a 1, bajo los siguientes criterios: inmadura menor a 0,95; madura entre 0,95 a 1 y sobremadura mayor a 1, valor que se obtiene al dividir valores de los brix de la parte superior para la inferior **(Carlosama, 2009; Aguiar, 2011)**. Otros ofrecen valores con mayor rango en cañas maduras entre 0,85 a 1 **(FUNACH & ASCAPAM, 2002)**.

El almacenamiento de la caña en fábrica debe ser corto, de 24 a 36 horas antes de la extracción, para evitar la deshidratación y cambios fisicoquímicos y enzimáticos, que afectan los rendimientos de extracción. **(Aguiar, 2001; Chen, 1991)**

La caña no debe estar almacenada por más de tres días, pues se incrementa el contenido de azúcares reductores afectando la eficiencia del proceso de limpieza y el producto final adquiere una consistencia blanda **(FUNACH & ASCAPAM, 2002)**.

- **Etapas de extracción de jugo.**

La caña se somete a compresión en los rodillos o mazas del molino, lo cual propicia la salida del contenido del líquido de los tallos. Se consideran satisfactorias aquellas extracciones entre 58 a 63% **(Hugot, 1984; Castellanos, 2010)**.

Los productos finales de esta fase son el jugo crudo y el bagazo. El primero, es la materia prima que se destina a la producción de panela, mientras el segundo se emplea como material combustible para la hornilla después de secado con una humedad entre 50 y 60%, o en la cogeneración de energía **(Velásquez et al, 2005)**.

Para el accionamiento de los molinos se utilizan varias fuentes de energía: animal (para accionar molinos verticales), hidráulica (ruedas hidráulicas con turbina Pelton), energía eléctrica con motores trifásicos, para molinos horizontales, accionados por motores de combustión interna a baja velocidad a diesel, gasolina y gas **(Rojas, 1998; Osorio, 2007)**.

La cantidad de panela varía según el porcentaje de extracción del molino y la concentración de los sólidos solubles (grados Brix), así: a mayor porcentaje de extracción y a mayor grado Brix, mayor cantidad de panela por tonelada de caña.

En los molinos paneleros la extracción fluctúa, normalmente, entre 40 y 65% y la concentración de los sólidos solubles en el jugo crudo entre 16 y 22° Brix dependiendo del grado de extracción del molino, la variedad y grosor de la caña **(Rojas, 1998; Aguiar, 2001; Velásquez et al, 2005)**.

- **Etapas de purificación del jugo.**

Comprende sub-etapas de limpieza, pre-limpieza y clarificación del jugo. La limpieza consiste en separar los sólidos como: residuos de bagazo, hojas, insectos utilizando tamices. Los residuos como: tierra, arena, materiales más densos que el jugo y otros menos densos, son separados en equipos llamados pre-limpiadores o sedimentadores. Los pre-limpiadores, son equipos que operan de forma continua y la separación de impurezas del jugo frío, se realiza bajo el principio de flotación y sedimentación **(Batule, 2004; 2005)**. Algunos autores plantean filtrado únicamente o incorporar solución de cal **(Castillo & Ganchozo, 2004; Mejía, 2007)**.

Cuando el volumen de molienda es de, mínimo una tonelada de caña por hora, con extracciones de jugo mayores al 55%, es recomendable ubicar un segundo pre-limpiador a continuación del primero, para asegurar una limpieza completa de los jugos **(Osorio, 2007)**. Las fábricas deben contar con dos tipos de pre-limpiadores, tipo uno y tipo dos, con ángulos de inclinación de 45° y 30°, respectivamente. Para trapiches con capacidades de hasta 2 toneladas de caña por hora, se recomienda utilizar 1 pre-limpiador de cada tipo. Para capacidades superiores a 2 toneladas por hora, utilizar 1 del tipo uno y 2 del tipo dos **(Prada, 2002; Osorio, 2007)**.

La clarificación del jugo, consiste en la separación de los no azúcares disueltos en el jugo (pigmentos, gomas, grasa, entre los más importantes), que se separan por efecto del incremento de temperatura del jugo y por la acción de sustancias clarificadoras que pueden ser naturales como los mucílagos y químicos **(Fernández, 2003; Sentmanat, 2010)**. Esta etapa es una de las más importantes del proceso de elaboración de panela ya que se retiran todas aquellas impurezas gruesas y de carácter no nutritivas **(Blanco & Zumalacárregui, 2006)**.

El uso de sustancias químicas, como el óxido de calcio, es frecuente en forma de lechada, con el objetivo de regular la acidez de los jugos a un valor de pH de 5,8

(Ortega & Cabrera, 2006; Osorio, 2007; Pérez & Ablan, 2008; Mujica, 2007). Otros emplean compuestos aún más peligrosos y perjudiciales como el sulfoclarol o hidrosulfito de sodio o mucílagos, sustancias babosas extraídas de la corteza de algunas plantas tal como el balso, guásimo y cadillo usadas en la industria panelera (Osorio, 2007; Fonseca, 2002; Prada, 2002).

Para el uso de clarificadores naturales se considera que, por cada 500 litros de jugo, se debe incorporar entre 15 a 30 litros de solución clarificadora, que corresponde al 3 y 6 % de solución clarificadora (Prada, 2002).

De la cantidad de mucílago, se incorporan las $\frac{3}{4}$ partes del mucílago a 50°C, se retira la cachaza negra a temperaturas entre los 75 y 82°C, y se incorpora el resto de mucílago minutos antes de la ebullición (Aguilar, 2001). Recomienda incorporar las primeras partes a 60°C y el resto a 80°C (Prada, 2002). Por otra parte, (Blanco & Zumalacárregui, 2006) indican que desde el punto de vista reológico, la adición de mucílago debe realizarse a temperaturas cercanas al ambiente utilizando soluciones clarificadoras de cadillo de 1,4 g/100 ml, esto en contraposición al criterio de clarificación de jugos realizada a temperaturas entre 102 a 104°C (Hugot, 1984). Sin embargo, ninguno de estos autores considera en la clarificación de los jugos la variable turbidez como criterio válido de calidad en esta etapa.

Estudios realizados por (Ríos et al, 2002) en agua, indican que la variación de la turbidez en el agua depende del tiempo de floculación, y que es posible aplicar la variable turbidez en la clarificación de jugos de la caña para procesos paneleros. Por lo que es necesario, profundizar estudios en la clarificación de los jugos para mejorar la calidad del producto final.

La adhesión de los no azúcares coagulados permite la separación de estos por flotación en forma de material espeso y semicompacto denominado, cachaza negra o blanca. La separación de cachaza (negra y blanca), se realiza en caliente antes y después de la ebullición. La transformación del jugo en panela alcanza de 90 a 92°Bx, y del total de jugo procesado, entre un 2 y 3% se convierte en cachaza, que al deshidratarse se transforma en una masa gelatinosa llamada melote, importante en la alimentación animal (López & Osorio, 2000).

El control de variables de temperatura, grados brix, pH y tiempo favorecen el proceso de limpieza y en consecuencia la calidad del producto final (Pérez &

Ablan, 2008) Un exceso de mucílago es perjudicial, pues la panela presentará problemas de consistencia blanda y babosa (**Fernández, 2003**).

- **Etapa de evaporación y concentración.**

Terminada la clarificación, se inicia la evaporación del agua, aumentando de esta manera la concentración de azúcares en los jugos. El proceso general para panela y azúcar natural hasta la etapa de evaporación y concentración es similar. La evaporación se realiza en dos o tres tinajas hasta aproximadamente 70°C, para luego llevarlas a las tinajas de concentración para su punto final. La incorporación de sustancias químicas como cal o sulfoclarol en esta etapa, es común.

La eficiencia térmica de la hornilla y su efecto sobre los jugos influyen en la calidad de la panela. La forma y el tamaño de una hornilla panelera varían mucho entre una región panelera y otra, pero, en general, puede decirse que la hornilla está formada por la cámara de combustión, el área de evaporación (pailas), el ducto de humos y la chimenea.

Cuando los jugos alcanzan un contenido de sólidos solubles cercano a 70° Brix adquieren el nombre de mieles o jarabes, y se inicia la concentración (**Chen, 1991**). Por otro lado, se necesita alcanzar en el fondo 70°Brix, el cual se logra a una temperatura que oscila entre 97-98°C (**Pérez & Ablan, 2008**), valores deben ser sustentados de acuerdo a la altura de ubicación de la planta en msnm.

La temperatura y concentración de punteo dependen de la altura de ubicación del trapiche. La mayoría de paneleros la determinan valiéndose del color de la miel, formación de copos de miel en ebullición y pruebas de tacto en agua fría, que generan variedad de colores y texturas en productos finales. Existen divergencias acerca de la temperatura de punteo ideal. En la tabla 1.3, se resumen algunos resultados obtenidos por varios autores.

Tabla 1.3 Resultados obtenidos de temperatura de punteo.

Autores	Resultados
(Rivero & Torres, 2000)	entre 130 y 133°C
(Espinosa, 1997; Barona, 2002)	entre 124 y 126°C
(Collaguazo, 2007; Osorio, 2007)	entre 118 a 125°C con 88 a 94°Brix
(García, 2004)	entre 120°C y 125°C
(Pérez & Ablan, 2008)	116°C que equivalen a 95° Brix

La disparidad de valores conlleva a la necesidad de contar con curvas de control a diferentes altitudes para temperatura y concentración del jugo de caña in situ, ya

que el Ecuador continental se encuentra dividido en tres regiones costa, sierra y oriente donde las agroindustrias paneleras están ubicadas a lo largo y ancho del país, a diferentes metros sobre el nivel del mar.

- **Etapa de batido y moldeo.**

La miel proveniente de la hornilla se deposita en una batea y por acción del batido intensivo e intermitente, se enfría, pierde capacidad de adherencia y adquiere la textura para el moldeo. Se realiza con el fin de enfriar y mejorar el color del producto. El batido de la miel se realiza en forma manual en batea de madera o acero inoxidable (**García, 2004**). Se puede utilizar batidores mecánicos para panela granulada (**Collaguazo, 2007; Chen, 1991**).

Una vez la miel batida, se aprecia la cristalización y posteriormente se moldea, y enfría adquiriendo su forma definitiva de panela.

La panela es propensa a sufrir alteraciones cuando presenta concentraciones de azúcares reductores altas, bajos contenidos de sacarosa y alta humedad. A medida que aumenta la absorción de humedad, la panela se ablanda, cambia de color, aumenta los azúcares reductores y disminuye la sacarosa. En estas condiciones es propensa a la contaminación por microorganismos. Si la panela elaborada posee entre 7 y 10% de humedad, es necesario transportarla, distribuirla y consumirla con rapidez, ya que un almacenamiento prolongado deteriora su calidad. A partir del 10% de humedad, la superficie se muestra brillante por la aparición de melaza; en estas condiciones, es imposible almacenarla por el riesgo de invasión microbiológica y de alteración fisicoquímica (**Osorio, 2007**)

La panela en bloque se puede empacar en costales, cartón y plástico termoencogible. El más recomendado es el cartón, cuya función es aislar el producto evitando la absorción de humedad. La panela pulverizada se recomienda empacarla en bolsas de polipropileno (**Colectivo et al, 1998**).

1.3 Vigilancia tecnológica de la agroindustria panelera.

La vigilancia tecnológica tiene como objetivo la obtención continua y el análisis sistemático de la información con valor estratégico sobre las tecnologías y sus tendencias previsibles, lo que optimiza la toma de decisiones empresariales y la anticipación a los cambios (**Maspons, 2000; González et al, 2008; Rodríguez, 2011**).

Es por ello, que la vigilancia tecnológica permite conocer las tecnologías y productos en que se está trabajando (investigando, patentando, publicando) en una determinada área, la aparición de tecnologías emergentes, las líneas de investigación y las trayectorias tecnológicas de las principales empresas competidoras, los centros de investigación, empresas y personas líderes **(Ley, 2006; González et al, 2008; Castellanos, 2010)**.

La agroindustria panelera por sí sola no puede desarrollarse. Tiene hasta el momento un limitado desarrollo tecnológico y a nivel comercial ha iniciado su posicionamiento en el mercado de los edulcorantes con presentaciones pulverizadas **(Castellanos, 2010)**. Resulta sorprendente que Ecuador no cuenta con un Plan Nacional de Desarrollo Agroindustrial en el cual se delinee políticas e incentivos para el sector. La mayoría de países del centro y sur de América mantienen una ventaja competitiva ya que se anticiparon en realizar planes para el sector agroindustrial **(MAG, 2006)**, se plantea el plan nacional de desarrollo agroindustrial **(MIC, 2009)** y los resultados aún son inciertos, pues la compañías encuentran dificultades frente al gobierno **(Poveda, 2014)**. El escenario actual del país presenta una serie de debilidades estructurales, que van desde generación de empleo de calidad, actividades con nula incorporación de tecnología y con limitada capacidad innovadora, otros **(Cevallos, 2013)**, pues para el subsector panelero está muy lejos de alcanzar ventajas competitivas para su desarrollo. Sin embargo, en la nueva matriz productiva del gobierno, habla de mejoras, productividad, calidad y asociatividad, entre otros para las MYPIMES **(MCPEC, 2010; 2013)**.

Resulta importante para el sector, una ley que promueva su desarrollo, aportando a la seguridad y soberanía alimentaria para el buen vivir que permite la felicidad, mediante un acceso seguro y permanente de alimentos sanos y nutritivos **(IICA, 2009; Boucher, 1995; Delgado & Escobar, 2009; SEMPLADES, 2013)**. Por tanto, es necesario para el desarrollo de la agroindustria panelera:

- Incorporar sistemas de gestión y alianzas estratégicas de manera que mejoren las capacidades técnicas, el diálogo y la negociación.
- Promover la gestión de nuevos conocimientos para la inserción exitosa de la empresa en la actividad comercial del mundo actual.
- Integrar capacidades, habilidades, información estructurada, aplicación y transferencia de tecnologías.

1.3.1 Producción de panela a nivel internacional.

La producción de panela es una de las agroindustrias artesanales y rurales de mayor tradición en América Latina y el Caribe (**Rodríguez et al, 2004; Cuevas et al, 2004; Rodríguez et al, 2007**). En el **Anexo 1** se muestran los principales productores y consumidores de panela a nivel mundial. (**MAG, 2006; Culqui & Zumaeta, 2011**)

En el mundo cerca de treinta países producen panela. Entre los países productores de panela reportados en el continente se destacan, en su orden, Colombia, Brasil, México, Guatemala, Venezuela, Haití, Perú, Ecuador, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Bolivia y Argentina (**Rodríguez et al, 2004**).

En el Ecuador, se producen 2000 toneladas de panela al año. La mayor parte de las unidades paneleras se caracterizan por presentar un bajo nivel tecnológico, tanto en el cultivo de caña como en la fabricación de la panela (**Espinal, 2005**). De la producción total, Ecuador exporta a 10 países compradores de panela a nivel mundial, no obstante el Ecuador no entra dentro de los 10 países proveedores de panela en el mundo (**ProEcuador, 2011; Jaffé, 2012b**), el porcentaje de la exportaciones en el mundo participa con el 1,6 % y el incremento de las exportaciones entre 2007 al 2011 en porcentaje en dólares y cantidad en toneladas disminuyen a -30% y -49% respectivamente respecto al 2007 (**Jaffé, 2012b**).

La producción de panela constituye una de las principales actividades generadoras de ingresos para más de 40 000 familias. Se plantea aproximadamente que, 24 hectáreas en producción tienen un rendimiento de 1400 t por año de caña, y generan 114, 5 t de panela granulada (**Rosero, 2010**).

1.3.2 Cadena de comercialización de la panela.

Uno de los principales factores que han influido negativamente en la comercialización de la panela es el desconocimiento de sus beneficios nutricionales y medicinales, así como sus presentaciones tradicionales poco practicadas, lo cual han contribuido a la baja competitividad frente al azúcar refinado (**Mujica et al, 2008**).

En el Ecuador, el precio de la panela varía según la calidad y lugar de procedencia. Según información del Banco Central del Ecuador, 1 kg de panela se encuentra entre 50 a 70 centavos dólar. La compañía CAMARI, ofrece panela granulada a

\$1,09/kg de panela, empacada en fundas laminadas de material polipropileno y su consumo es de máximo 2 años **(Castillo & Ganchozo, 2004; HOY, 2013)**.

La cadena de comercialización de la panela, comienza desde los portadores primarios hasta el consumidor. Se estima que en Ecuador la intermediación entre el productor y el consumidor final agrega entre el 15% y el 20% al costo del producto. Aunque la mayoría de los sectores utiliza los intermediarios y la venta directa a la vez, la industria del azúcar y sus derivados comercializa sus productos casi exclusivamente vía intermediarios **(MAG, 2006; MIES, 2010)**.

La mayoría de la producción de panela se realiza en pequeñas unidades sin el respaldo de una organización, afectando la información, producción y comercialización, donde el intermediario toma ventaja. Recientemente se han creado organizaciones como intermediarias que agrupan a paneleros con fines de exportación y logran ubicar los productos (panela y azúcar natural) en el mercado interno en cadenas comerciales (Supermaxi, Mi comisariato, Supermercados Santamaría, AKI, TIA y otros), exigiendo registro sanitario y con el cumplimiento de las normas básicas de calidad del INEN **(MAG, 2006; MIC, 2009)**.

Lo sustentado se concentra en el mundo empresarial, en la gestión tecnológica, la cual revela en sus planes, políticas y estrategias tecnológicas el desarrollo de los negocios en pro del fortalecimiento y la generación de ventajas competitivas.

1.4 Gestión tecnológica en la industria química.

La gestión tecnológica se concibe como el proceso de administrar el desarrollo de la tecnología, su implementación y difusión en los sectores industrial, público y privado y en la sociedad en general. Implica el manejo del proceso de innovación a través de la investigación y desarrollo (I+D), lo cual incluye la introducción y uso de tecnología en productos, en procesos industriales, y en otras áreas estructurales y funcionales de la empresa, así como también la utilización de este conocimiento en la solución de los diferentes problemas de la sociedad, del ser humano y del medio ambiente **(Nuchera, 1999; Dueñas, 2002; Sengupta, 2011; Donen, 2013)**

La gestión tecnológica se define como la estrategia de la empresa que se encarga de identificar, analizar, planear e implantar desarrollos y aplicaciones tecnológicas, con tendencia a mejorar sustancialmente el rendimiento del negocio, generando diferenciación a partir del valor agregado competitivo **(Dueñas, 2002)**.

Las empresas que incorporan la gestión tecnológica en su cultura, mantienen las actividades propias de la gestión en su cadena de valor y se realizan de manera sistemática mediante procesos básicos que desarrollan funciones de gestión tecnológica. Entre estos procesos, pueden mencionarse: la gestión del conocimiento, el monitoreo y la inteligencia tecno económica, la evaluación de alternativas tecnológicas, la negociación de tecnología, la transferencia de tecnología, la asimilación y adaptación, mejoramiento y la investigación y el desarrollo (Ávalos, 1993; Ley, 2006; Sengupta, 2011).

En términos generales, los procesos de gestión tecnológica en la empresa involucran funciones básicas, como: "identificación, evaluación y selección de tecnologías, desagregación de paquetes tecnológicos, negociación de tecnologías, construcción y puesta en marcha de sistemas productivos, uso, asimilación, adaptación y mejoramiento de la tecnología, generación y comercialización de nuevas tecnologías" (Ávalos, 1993).

1.4.1 Gestión tecnológica. Funciones y herramientas.

En el ambiente empresarial, la gestión tecnológica se revela en sus planes, políticas y estrategias tecnológicas para la adquisición, uso y creación de tecnología, así como cuando se asume la innovación como eje de las estrategias de desarrollo de los negocios. Considera variables como: calidad, costes, cuotas de mercado y competitividad. De ahí que se plantee, que la empresa debe formular una estrategia tecnológica integrada en una estrategia global y al mismo nivel, otras estrategias específicas, figura 1.2 (Ávalos, 1993; Nuchera, 1999; Ley, 2006).

Resulta imprescindible que se genere entre las estrategias una interacción mutua: las tecnologías que se conocen y dominan van a posibilitar la obtención de nuevos productos mientras que, de forma recíproca, la decisión estratégica de abordar nuevas actividades exige disponer de lo que se denominan competencias tecnológicas, de habilidades y conocimientos que permitan a la empresa diferenciarse por el dominio de algún aspecto tecnológico. (Nuchera, 1999).



Figura 1.2. La estrategia global y específica de la empresa (Nuchera, 1999).

Las funciones que son necesarias desarrollar para conseguir una eficiente gestión de la tecnología se clasifican en activas y de apoyo (**Anexo 2**). Las funciones de apoyo son: la vigilancia del entorno para identificar la información que sugiera oportunidades e indique amenazas, y la protección de las innovaciones.

La evaluación de la competitividad constituye el primer paso para que la empresa pueda afrontar nuevas estrategias de desarrollo. Se basa en analizar su capacidad para movilizar sus recursos tecnológicos hacia las necesidades del mercado teniendo en cuenta a sus principales competidores.

El diseño de la estrategia tecnológica debe hacer explícitas las opciones tecnológicas de la empresa, y su éxito o fracaso estará basado en la identificación de oportunidades y en la concentración de recursos en aquellas áreas tecnológicas en las que posea mejores capacidades internas y que les permitan alcanzar con rapidez la fase de comercialización.

Una estrategia óptima dirigida a enriquecer el patrimonio tecnológico debe basarse en una especialización en el esfuerzo de desarrollar la tecnología internamente y, al mismo tiempo, aprovechar la capacidad investigadora de centros externos. Para ello, la materialización de esta función se fortalece en herramientas como: alianzas tecnológicas, la transferencia de tecnologías y la adquisición de la tecnología (**Ley, 2006; González et al, 2004**).

Una gestión eficaz en la implementación de las fases de desarrollo exige, una estrecha interacción entre las diferentes actividades que constituyen el desarrollo del producto (investigación, diseño, prototipo, ingeniería, fabricación, control de calidad, comercialización) y que se caracterizan por una cultura de trabajo distinta,

que se manifiesta principalmente por la diferente experiencia y cualificación de los recursos humanos, las distintas escalas de tiempo que contemplan y las variadas presiones que soportan (Nuchera, 1999).

1.4.2 Necesidades de gestión tecnológica en la agroindustria panelera.

La agroindustria panelera tiene necesidades de gestión tecnológica de manera que posibilite dinamizar el proceso productivo a través de la introducción sistemática de innovaciones tecnológicas, para lograr incrementar la competitividad de la empresa basada en la calidad de sus productos, el desarrollo científico, tecnológico y social (Castellanos, 2010; Rodríguez, 2006).

Estas acciones, implican un reordenamiento territorial como ajuste a jurisdicciones político-administrativo, según sus características socioculturales, económicas y étnicas (Pérez & Ablan, 2008; IICA, 2009; Toro, 2009; IICA & SENA, 2011).

Además, se requieren desarrollar plataformas para la exportación y mediante un proceso de capacitación, investigación de mercados y negociación con compradores potenciales. Permitirá producir más y mejor en el campo e incorporar segmentos cada vez mayores de la población rural a las cadenas de valor y mejorar sus ingresos (Villalobos, 2010; Rodríguez, 2010; IICA & SENA, 2011).

En este sentido, resulta necesario, establecer alianzas que impliquen cambios de una situación inicial a una final a través de un aliado comercial, así como establecer acciones conjuntas entre universidades, gobiernos, bancos, distribuidores y organizaciones no gubernamentales. Ecuador, se beneficia del comercio justo según el Decreto Ejecutivo 3609 del 2003. En el 2004, se beneficiaron 2000 familias, y dentro de esos productos está la panela (Estrella, 2004; IICA, 2008).

Sin lugar a dudas, todas estas acciones futuras de gestión tecnológica en la agroindustria panelera no podrán desarrollarse sino se fortalece el principal punto débil, la tecnología. Para ello, es importante trabajar en la búsqueda de alternativas que permitan incrementar el patrimonio tecnológico en pro del desarrollo de la tecnología y la competitividad de la empresa. En este sentido, desde hace unos años se viene trabajando en la intensificación de procesos la cual busca desarrollar procesos más seguros y eficientes, en equilibrio con el medio ambiente.

Precisamente, el trabajo se concentra en la elaboración y evaluación de recomendaciones para la intensificación del proceso de producción de panela a partir de la propuesta de un procedimiento de gestión tecnológica con el propósito

de incrementar su competitividad tecnológica y económica, así como su compatibilidad ambiental.

1.5 Intensificación de procesos como vía de desarrollo tecnológico.

En Europa y Estados Unidos se habla desde hace algún tiempo de la Intensificación de Procesos (IP), la cual busca: desarrollar procesos más seguros, con altas eficiencias en los equipos y con una reducción del tamaño de los mismos, generar la menor cantidad de residuos y obtener la mayor cantidad de productos con la menor cantidad posible de materia prima. Resulta importante, toda vez que la intensificación de procesos se va imponiendo y organizando, que las nuevas generaciones de Ingenieros Químicos colaboren y ayuden a desarrollar las tecnologías promoviendo innovaciones y aportes en la industria (**Simon, 2009; Lutze, 2010; Pérez, 2011**).

La mayoría de los empresarios plantean que la creciente competencia mundial requerirá cambios importantes en la forma de diseño de las plantas. Los científicos líderes en la industria y el mundo académico en los EE.UU, enuncian siete temas claves para fortalecer el desarrollo de estos cambios, los mismos son: reducción de la inversión de capital, reducción del uso de la energía y costos de materia primas, mayor flexibilidad en el proceso y reducción de las inversiones, incremento en la seguridad del proceso, aumentar la atención a la calidad y mejorar el rendimiento ambiental (**Keller, 2000; Keil, 2007; Reay, 2009; Wiroon, 2013**).

En IP se desarrollan nuevas tecnologías con aplicación inmediata en la industria química, pero esta requiere tiempo de investigación y de personas críticas e ingeniosas para su desarrollo. Con estas tecnologías se buscan equipos más eficientes y de menor tamaño (**Simon, 2009, Lutze, 2010; Pérez, 2011**).

1.5.1 Especificaciones de la intensificación de procesos.

En la actualidad, es difícil dar una definición acertada y exacta del término Intensificación de Procesos (IP), al menos existe una coincidencia general acerca de que la misma requiere de una visión integral en el proceso, considerando el proceso como un sistema completo (**Keil, 2007; Freund, 2008; Wiroon, 2013**).

A continuación se enuncian algunas definiciones que han sido publicadas:

(**Cross, 1986**) definieron la IP como un término usado para describir y elaborar la estrategia de trabajo para la reducción del tamaño de una planta química necesaria para alcanzar un objetivo de producción dado.

(Stankiewicz, 2004) propone la IP como: cualquier ingeniería química en desarrollo que lleve a una tecnología de energía eficiente sustancialmente más pequeña, más limpia y más segura.

(Keil, 2007) plantea: "La IP es un enfoque revolucionario de desarrollo para procesar y diseñar una planta. Permite proporcionar a un proceso químico mejores productos con resultados favorables al medio ambiente, precisa de procesos más seguros, más limpios, más pequeños y más baratos. La IP no se limita a reemplazar lo viejo con la intensificación de un equipo o una planta ineficiente con la nueva, también puede desafiar modelos de negocio que abran oportunidades para nuevos productos patentables.

Una condición de la intensificación de procesos es el pensamiento creativo. En la industria, la innovación es la introducción de nuevos productos, procesos o servicios de aplicación en el mercado que caracterizan la generación de nuevas ideas con el fin de producir un nuevo producto, proceso o servicio. En la creatividad industrial I+D suele ser un producto de los conocimientos previos, actuando en algunos casos, sin planificación; Esto no quiere decir que ocurren por casualidad, pero son bastante impredecibles y no están garantizados (Keil, 2007; Reay, 2009; Freund, 2008; Wiroon, 2013).

La IP ha inspirado al auge de nuevos equipos y procesos, intensificándose los métodos y los avances en el diseño. En el **Anexo 3** se muestra un esquema de ejemplo de las diferentes herramientas de intensificación de procesos considerando los equipos y los métodos que se han venido desarrollando (Keil, 2007).

1.5.2 Consideraciones para la industria panelera.

La selección del tipo de sistema de gestión de la producción en una empresa manufacturera, debe basarse, en la generación de alternativas que posean bases científicas y demostrables. Como la falta de acciones en la agroindustria panelera contribuye a que se generen más problemas, es por ello que la intensificación del proceso constituye una vía hacia la búsqueda de mejoras tecnológicas apuntando a elevar la eficiencia y a la reducción del impacto ambiental (Freund, 2008; Castro et al, 2006). El éxito de las iniciativas empresariales dependerá de lo que logren las organizaciones de productores (Sancho, 2010).

Los actuales sistemas de fabricación de la agroindustria panelera, son más de fabricación y no de producción. La fabricación, como proceso de transformación de

materias primas naturales y artificiales mediante el uso de recursos. La producción, como proceso de transformación mediante la optimización de los recursos necesarios para obtener un producto y servicio, como la relación entre salidas y entradas, la relación de resultados y medios, vinculada con la calidad para ser competitivos **(Bello, 2006; Chase et al, 2005; Maseda, 1999)**.

Si bien a nivel de factorías, la agroindustria panelera ecuatoriana es artesanal y rudimentaria, existen oportunidades de mejoras con estudios de intensificación del proceso, para elevar la eficiencia, cuidado del medio ambiente, calidad e inocuidad. Calidad como política de estado en: servicios, producción y cultura de calidad, para alcanzar competitividad **(MCPEC, 2013)**.

1.6 La reconversión de procesos en la industria química.

La reconversión es un término utilizado en el sector industrial, como medio racional de adecuar, mejorar, adaptar y transformar la planta industrial a una situación nueva, como proceso económico de modernización orientado a una producción de calidad hacia el desarrollo **(Elshout, 2009; Charles, 2011)**.

Por lo general, las grandes y medianas empresas no trabajan en actualizaciones, modernizaciones, puestas a punto y reconversiones del equipamiento existente, lo cual trae la obsolescencia del equipamiento y el no aprovechamiento de capacidades e instalaciones **(Campbell, 1999; Yañez, 2002; Bonem, 2011; Couper, 2012)**.

Una reconversión en una instalación industrial debe concentrarse en tres objetivos esenciales para las inversiones en un país en desarrollo **(González et al, 2008)**, incrementar la capacidad de la planta, manteniendo una calidad del producto y una disminución de los consumos, especialmente los importados, disminuir del tiempo de retorno de la inversión destinada a la modernización de las plantas e incrementar la disponibilidad de la instalación.

Son varios los trabajos investigativos que han abordado los aspectos que contribuyen a la reconversión en plantas químicas, por ejemplo, **(Gallardo, 1990)** abordó la ampliación o reconstrucción de fábricas sobre la base de aspectos técnicos y económicos; **(González, 2008)** analizó la importancia de la reconversión para el incremento de la eficiencia, la eficacia y competitividad, caso que se ajusta a la reconversión de la agroindustria panelera, al considerar además aspectos ambientales y sociales para establecer criterios de decisión; **(Mesa, 2010)** planteó

una estrategia investigativa considerando la vigilancia tecnológica lo cual ha permitido optimizar esquemas y alternativas en la conducción de los procesos industriales hacia la obtención de productos de alto valor agregado.

Más reciente, se han desarrollado estrategias metodológicas que analizan los aspectos vinculados con la reconversión como: **(Ley, 2006)** al aportar contribuciones metodológicas y criterios para la asimilación y transferencia de tecnologías con vistas a la producción de biocombustibles, partiendo de la vigilancia tecnológica y de estudios previo inversionistas, pero no considera la adaptación de las tecnologías en plantas instaladas con el objetivo de minimizar costos inversionistas. Lograr una estabilización de la producción y considera la reconversión e inversión para una misma producción, sin embargo no valora el desarrollo diversificado de nuevas producciones a partir de las capacidades e instalaciones existentes **(González, 2008)**. El desarrollo de una estrategia para las modificaciones de las facilidades auxiliares y la rehabilitación continua de industrias de procesos en explotación con vistas a la reconversión de la industria diversificada **(De la Cruz, 2010)**.

La necesidad de adoptar una nueva estrategia de sustitución, renovación y reconversión de los equipos instalados de manera que se puedan aprovechar para las producciones bajo las cuales fueron diseñados o nuevas que puedan ser adaptados **(Morales, 2012)**. Se obtuvo una estrategia para la reconversión y reanimación de una industria diversificada de la caña de azúcar a partir del aprovechamiento de las capacidades y el equipamiento instalado en las plantas con la incorporación de nuevas producciones. Por su parte, **(Albernas, 2014)** presenta un procedimiento para el análisis, síntesis y diseño óptimo de procesos discontinuos, aplicado a las etapas de hidrólisis y fermentación para la obtención de alcohol, a partir de residuos lignocelulósicos, al combinar el sustrato obtenido (hidrolizado) con el tradicional empleado en la industria alcoholera, la miel final.

1.6.1. Criterios a considerar para la industria panelera.

En la actualidad, un enfoque integral de una nueva agroindustria panelera o de una nueva cadena productiva, requiere no sólo de ideas innovadoras, sino de la visión para instrumentar nuevos modos de pensar y de hacer.

De ahí, que sea necesario el aprovechamiento de las capacidades e instalaciones existentes en las actuales industrias paneleras para la reconversión, a partir de la

intensificación de procesos, disminuyendo costos inversionistas e incrementando la disponibilidad de las plantas.

La capacidad de adaptabilidad y estabilidad que presenta la producción panelera se debe en gran medida a la organización del sistema de producción y las redes de solidaridad que le brindan ciertas ventajas a los productores paneleros, como:

- Acceso a recursos de tierra, mano de obra y capital.
- Combinación de actividades para la comercialización mediante un sistema muy ajustable en sus líneas productivas a los cambios del mercado.
- Aporte significativo del autoconsumo al ingreso del hogar y flexibilidad del mismo para aumentar su contribución en épocas de crisis.
- Asociaciones entre los productores campesinos y de estos con inversionistas agrarios para la circulación productiva de tierra, capital y trabajo y para la minimización del riesgo.

Los consorcios crean una oferta más voluminosa y variada de productos exportables, que se visibilizan de mejor forma en el mercado extranjero (**MIP, 2012**). Las alianzas comerciales del Ecuador en la región y el mundo, están dadas en algunos casos y otras por firmarse. Hasta la fecha indican que se mejorará en la búsqueda de nuevos mercados, no obstante, hasta el 2005 ha sido deficitaria. Sin embargo, las actuales corrientes comerciales que mantiene Ecuador con los países miembros del MERCOSUR, podrían verse positivamente afectadas ante la firma de este acuerdo de complementación económica, debido no sólo al aumento general de las preferencias, que afectaría exclusivamente el arancel de importación, sino al mejor clima de negocios que un acuerdo de este tipo propiciaría (**ALADI, 2006**).

En el **Anexo 4** se muestran de manera esquemática la problemática actual de la agroindustria panelera en Ecuador. Precisamente ante tales problemas y puntos débiles es imprescindible actuar si se quiere fortalecer este renglón agroindustrial (**INEC, 2002; CONSEP, 2011**).

La agroindustria panelera tradicional y artesanal ecuatoriana, necesita de una reconversión en sus instalaciones y una intensificación de los procesos involucrados de manera que se logre una diversificación de la misma, con elevada compatibilidad energética y ambiental.

1.7 Estrategias para la evaluación ambiental en la agroindustria panelera.

En el Ecuador, la agroindustria panelera presenta problemas ambientales debido a la ineficiencia del sistema, por tal motivo es considerada con el calificativo de artesanal y rudimentaria.

Entre los principales problemas se encuentran, los bajos niveles de extracción de jugos, deficientes prácticas de limpieza y clarificación, uso de combustibles como leña y llantas que son causantes de deforestación, erosión y contaminación ambiental; subutilización de trapiches, desaprovechamiento de los subproductos de la caña y la molienda por desconocimiento de su tecnología para su adecuada utilización, uso de aditivos no deseables en la elaboración de la panela, y la inexistencia de tratamiento para los desechos líquidos y sólidos **(Rojas, 1998; Cuevas et al, 2004; Fonseca, 2002; Castellanos, 2010)**.

Para poder elevar la eficiencia, calidad y competitividad del sector panelero, con una reducción del impacto ambiental se requiere: **(Rodríguez et al, 2007; Lazzarini, 2009; ICCA, 2009; Morales, 2012; Rodríguez & Gottret, 2009)**.

- Utilizar hornillas energéticamente eficientes que permitan eliminar o por lo menos reducir en cerca del 94%, la utilización de leña.
- Identificar y cuantificar los impactos ambientales que tienen lugar durante todo el ciclo de vida del proceso.
- Adecuar y construir trapiches higiénicos y seguros.
- Incorporar buenas prácticas agrícolas (BPA) y de manufactura (BPM).
- Diversificar nuevos productos con un mayor valor agregado a través del desarrollo de la tecnología que generen ingresos superiores a la totalidad de la cadena.
- Buscar alternativas de intensificación en las etapas críticas del proceso de producción.
- Aprovechar las instalaciones existentes en las industrias paneleras a partir de la reconversión y adaptación de las nuevas tecnologías que permitan reducir los costos inversionistas.
- Formular directrices pertinentes para un corto, mediano y largo plazo necesarias en la ejecución de proyectos de mejoramiento tecnológico y no tecnológico.

Hoy en día, se dispone de un gran número de herramientas que facilitan el análisis y la gestión ambiental de productos, procesos y/o actividades, lo que obliga a seguir algún criterio para su clasificación **(Ortiz, 2001)**.

Entre las herramientas cualitativas se destacan las listas de verificación y las matrices; entre las cuantitativas se encuentran el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y los Eco-indicadores **(Burgess, 2001; Contreras, 2007; Talens, 2010; McBride, 2011)**.

Es evidente la necesidad de utilizar el potencial de las herramientas cualitativas como complemento de las herramientas cuantitativas en la medición de aspectos que estas no contemplan en lugar de querer reemplazarlas, puesto que las cuantitativas permiten realizar comparaciones objetivas de impacto entre diferentes sistemas, considerando todos los flujos de materia y energía consumidos y emitidos durante todo el ciclo de vida **(Brown, 2009; Derissen, 2011)**.

La estrategia de implantación de P+L requiere la identificación de los problemas ambientales, así como la evaluación ambiental de las modificaciones propuestas mediante la aplicación de herramientas como el ACV, que es una de las herramientas más útiles para aplicar los conceptos de prevención de la contaminación **(Burgess, 2001; Contreras, 2007)**.

1.7.1 Evaluación ambiental a partir del Análisis de Ciclo de Vida.

Según la norma **(ISO.14040, 2005)** el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. El ACV es una de las herramientas más empleadas en países desarrollados y especialmente en Europa.

La metodología del ACV integra todos los impactos ambientales ocurridos a lo largo del ciclo de vida de los productos considerando todas las etapas que intervienen desde su producción hasta su eliminación y los relaciona con problemas ambientales específicos.

Un estudio de ACV se puede hacer para diferentes niveles de profundidad, la tendencia actual es a realizar estudios simplificados. Varios autores como, **(Burgess, 2001; ISO.14040, 2005; Contreras, 2007; Talens, 2010; McBride, 2011)** analizan las etapas de un ACV, en cuatro fases: objetivo y alcance de estudio,

análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación. Estas cuatro fases no son secuenciales.

El análisis de inventario del ciclo de vida, comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema, tomando como referencia la unidad funcional. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema a lo largo del ciclo de vida, es decir, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final (**Burgess, 2001; Contreras, 2007; Talens, 2010**).

Las interpretaciones pueden sacarse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV. El nivel de detalle, la elección de impactos evaluados y las metodología usadas dependen del objetivo y alcance del estudio. Considerando que en la práctica, el inventario del ciclo de vida es una larga lista de emisiones y recursos utilizados, el propósito de la evaluación del impacto del ciclo de vida, es determinar la importancia relativa de cada elemento del inventario y agregar las intervenciones en un conjunto de indicadores, o de ser posible, en un solo indicador global (**ISO.14040, 2005; Talens, 2010**)

El Eco-indicador 99 es el más utilizado en los últimos tiempos, e incluye aspectos ambientales y la aproximación en función de los daños, es decir, la relación entre el impacto y el daño de la salud humana, al ecosistema y los recursos. A pesar de incluir los aspectos más relevantes no es 100% completo, pero mejora la metodología de cálculo del el Eco-indicador 95 y amplía la lista de impactos al considerar la disminución de los recursos, uso de los suelos y radiación de los iones, además la metodología se basa en métodos más científicos y fiables (**Goedkoop, 1999; ISO.14040, 2005; Contreras, 2007; Talens, 2010**)

Resulta importante, aplicar el ACV a la industria panelera y sus derivados para integrar y evaluar cuantitativamente el impacto ambiental total generado, que permita mostrar las ventajas y desventajas de las diferentes opciones de diversificación, lo cual es una acción clave para aprovechar al máximo el uso de los recursos y reducir el impacto ambiental además de mejorar el aspecto económico. En general, el concepto del ciclo de vida fomenta un ritmo de producción y consumo más sostenible, y nos ayuda a aprovechar los limitados recursos financieros y naturales con mayor eficacia.

1.7.2 Consideraciones para la industria panelera.

La evaluación ambiental para agroindustrias paneleras deben ajustarse de acuerdo al Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador TULAS bajo acciones básicas de cultura ambiental: evitar, reducir, reutilizar y reciclar. El monitoreo, evaluación y seguimiento ambiental permite identificar y valorar los posibles impactos y efectos que la actividad de un trapiche panelero (**Fonseca, 2002; Mejía, 2007; Carlosama, 2009**).

Si el agro-ecosistema no es manejado con prácticas que garanticen la protección de sus funciones agroecológicas, el sistema pierde su capacidad ecológica de resistencia y se convierte en inestable, improductivo e insustentable (**Holt, 2008**). Un plan de manejo de residuos se diseña con el fin de cumplir objetivos de: eliminar y/o minimizar los impactos generados por los residuos sólidos al medio ambiente, reducir los costos asociados al manejo de residuos sólidos, definir buenas prácticas para el manejo de residuos sólidos bajo el consenso de reciclar, reducir y reutilizar los desechos sólidos, así como, trabajar en una producción limpia (P+L) en procesos paneleros, una estrategia ambiental preventiva e integrada aplicada a los procesos, productos y servicios (**Rodríguez et al, 2007; Carlosama, 2009; Quizanga, 2009; Sancho, 2010**).

El Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) de Bolivia define a la P + L, como una práctica empresarial que se aplica a todo proceso de cualquier tipo de empresa y subsector industrial, para incrementar la productividad y las utilidades económicas, mediante el uso óptimo de agua, energía y materias primas por unidad de producto; minimizando, al mismo tiempo, la generación de desechos y los costos inherentes al tratamiento y disposición de los mismos. Su utilización del análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta para evaluar la sostenibilidad de los procesos tecnológicos, ya que relaciona los impactos ambientales y da la posibilidad de establecer las prioridades para definir estrategias preventivas para el mejoramiento del medio ambiente (**García, 2004; Contreras, 2007**).

La agroindustria de la panela tiene efecto sobre los diferentes componentes ambientales: biológicos, físicos y culturales; no obstante, el más afectado es el físico, en especial el componente aire, debido al volumen de gases provenientes de la combustión que son emitidos a la atmósfera. Aunque no se dispone de estudios preliminares sobre el impacto que esta agroindustria causa al medio ambiente, es

evidente que los mayores efectos son recibidos por el componente atmosférico (García, 2005).

1.8 Estrategia de gestión para la intensificación y reconversión de la agroindustria panelera.

Para la intensificación y reconversión de la industria panelera, se requiere estudios para asimilar las nuevas tecnologías aplicadas, sus modificaciones y el impacto real que sea viable para la toma de decisiones. Hasta la fecha no hay reportes de estudios de intensificación o reconversión en la actividad panelera. Bajo esta situación el objetivo se enmarca en proponer un procedimiento para intensificar y reconvertir la industria panelera para aprovechar las capacidades instaladas, realizar mejoras y establecer nuevas líneas de producción bajo criterios de calidad y de eco-desarrollo. En la figura 1.3 se propone el diagrama heurístico para la estrategia a seguir.

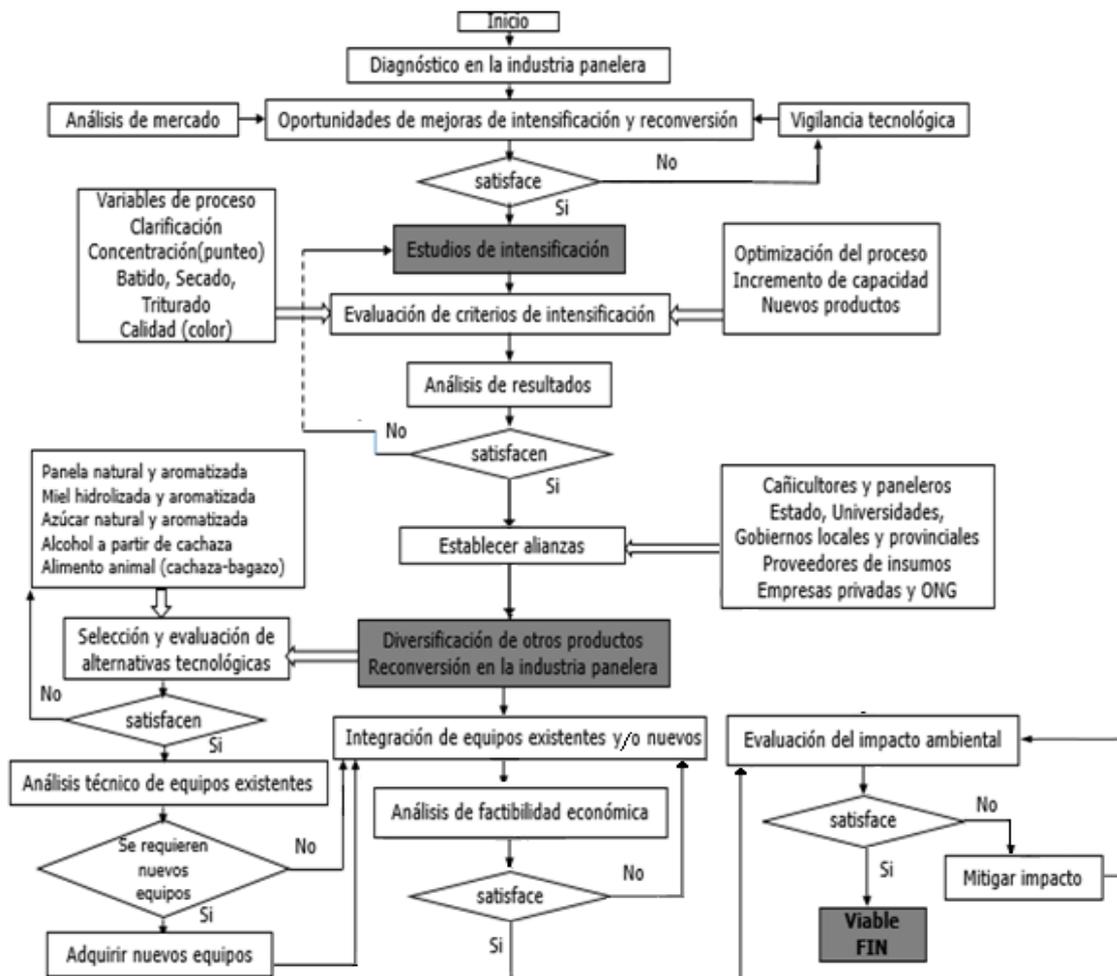


Figura 1.3. Diagrama heurístico de intensificación y reconversión de la agroindustria panelera.

El diagrama heurístico constituye un aporte como estrategia para la toma de decisiones en el sector.

La estrategia comienza con el diagnóstico en la planta. Se realiza un análisis integral del proceso detectando los puntos débiles. Se identifican si existen oportunidades y necesidades de mejoras de intensificación hacia la búsqueda de nuevos productos y/o tecnologías de producción, a partir de un estudio de mercado y de vigilancia tecnológica. Si los estudios satisfacen, se comienza con los estudios de intensificación del proceso de producción de panela. Se procede a la evaluación de criterios de intensificación considerando diferentes aspectos, análisis de variables de proceso en las etapas de clarificación, concentración (punteo), batido, secado y triturado, calidad (color), incrementos de capacidad, etc. Si los resultados de la intensificación satisfacen se continúa, sino es necesario buscar nuevas propuestas de intensificación en las etapas del proceso.

A partir de resultados positivos, se establecen las alianzas entre los diferentes factores que inciden en el desarrollo de la agroindustria panelera. Si los resultados favorecen, pues se pasa al desarrollo de nuevos productos y a la reconversión de la industria panelera a partir del aprovechamiento de las instalaciones y las capacidades existentes en el sector. Se seleccionan y evalúan diferentes alternativas tecnológicas de nuevos productos; si los mismos satisfacen, pues se realiza el análisis técnico de los equipos existentes y sus mejoras, en caso de necesitar nuevos equipos se procede a la adquisición de los mismos y su integración con los equipos existentes.

Posteriormente se procede al análisis de factibilidad económica del impacto de las nuevas tecnologías de producción, y en dependencia de los resultados se llega a la viabilidad o no en las condiciones reales.

Finalmente, se continúa con la evaluación ambiental del proceso partiendo del análisis actual y el impacto de las propuestas de intensificación y reconversión en el proceso de producción y en consecuencia, se valoran las propuestas para mitigar los impactos.

Conclusiones parciales.

1. Para la seguridad, soberanía alimentaria y el buen vivir en el Ecuador resulta importante el desarrollo de la industria panelera y sus coproductos, por ser esta una de las agroindustrias artesanales y rurales de mayor tradición en América Latina y el Caribe.
2. Los problemas de ineficiencia del sistema, por desconocimiento de la tecnología, las deficientes prácticas de limpieza y clarificación y el uso de aditivos no deseables en la elaboración de la panela, unido a la contaminación ambiental por el uso indiscriminado de combustibles como leña y llantas han hecho que la agroindustria panelera en el Ecuador sea considerada con el calificativo de artesanal y rudimentaria.
3. Ecuador no cuenta con un Plan Nacional de Desarrollo Agroindustrial, por lo que en la agroindustria panelera se impone la necesidad de realizar un proceso de gestión tecnológica que posibilite dinamizar el proceso productivo a través de la intensificación y/o la reconversión de sus producciones, para lograr incrementar la competitividad de la empresa basada en la variedad y calidad de sus productos y el desarrollo científico, tecnológico ambiental y social.
4. La estrategia para la intensificación y reconversión de la industria panelera en el Ecuador, como opción de eco-desarrollo, debe ser conducida por un diagrama heurístico que contemple desde los puntos débiles del proceso y la defectación de los equipos, hasta la propuesta de nuevas alternativas de producción que conlleven a la obtención de los objetivos técnicos, ambientales y económicos propuestos.

**CAPÍTULO 2. ESTUDIOS TECNOLÓGICOS EN LA
APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA PARA LA
RECONVERSIÓN EN UNA INDUSTRIA**

CAPÍTULO 2. ESTUDIOS DE INTENSIFICACIÓN EN LA AGROINDUSTRIA PANELERA.

2.1 Introducción.

En el Ecuador, las veintitrés provincias son productoras de caña de azúcar y tienen actividad panelera. Existen alrededor de 82749 hectáreas de caña para la producción de azúcar y 42606 hectáreas de caña para otros usos. Cerca de 12000 hectáreas se destinan a la producción de alcohol artesanal con 138 fábricas de alcohol. Para la producción de panela se dedican 30602 hectáreas con una producción promedio de 70 t/ha. (INEC, 2002; CONSEP, 2011).

Un diagnóstico aplicado en todo el país se estima que existen 519 fábricas dedicadas a la producción de panela y azúcar natural conocido comúnmente como panela granulada, distribuidas como sigue, Sierra, 267 paneleras, para un 51%; Oriente, 171 paneleras, para un 33%; y Costa, 81 paneleras para un 16%.

La provincia de Imbabura, en la región Sierra, es una de las mayores productoras de caña donde existe un ingenio azucarero de capacidad promedio de 50 t/h, cuyo principal producto es el azúcar blanco sulfitado. Existen destilerías de alcohol y agroindustrias paneleras o trapiches donde el principal producto de elaboración es la panela en bloque o raspadura y la producción de azúcar natural o panela granulada, que en los últimos años 10 años ha tenido un crecimiento significativo.

En la provincia de Imbabura existen 23 paneleras, distribuidas en 5 cantones, que generan 44,55 toneladas de panela por semana, ubicadas desde los 100 hasta los 2250 msnm (metros sobre el nivel del mar).

La empresa Nápoles, ubicada en esta provincia, es la mayor productora de panela con 20 t/d, con una frecuencia de trabajo de cinco días a la semana y 48 semanas al año. La necesidad de caña es de 4800 t/año, suministrada por 75 hectáreas de cultivo a un promedio de producción en la zona de 100 t/ha. Precisamente, esta panelera será el caso de referencia para los estudios tecnológicos de intensificación del proceso de producción de panela.

La infraestructura de la planta permite trabajar con 40 t/d, que corresponde a 100% de su capacidad instalada. Actualmente, trabaja a un 50% de su capacidad, lo que de acuerdo a la disponibilidad de materia prima y con criterios de mejoras para intensificar y reconvertir se pretende llevar la producción a 30 t/d, lo que representa un 75 % de la capacidad.

Partiendo de la estrategia de gestión propuesta para intensificar y reconvertir la industria panelera, definida en la figura 1.4 del capítulo 1 se procede al análisis detallado en el caso de estudio.

2.2 Diagnóstico en la instalación industrial.

La panelera Nápoles, como otras del sector, no cuenta con una estructura empresarial tanto en producción agrícola, procesamiento y comercialización, lo que hace que el productor no logre precios adecuados ni competitivos por sus fluctuaciones en el mercado, debido a la escasa negociación que genera toda la cadena productiva de panela. Uno de los principales obstáculos en su objetivo por llegar al mercado extranjero, ha sido el no satisfacer en su totalidad la demanda del consumidor en volumen (FLACSO, 2010).

Del diagnóstico realizado en la instalación industrial se detectaron varios puntos débiles que afectan considerablemente el proceso productivo desde la parte agrícola, la fabricación hasta la comercialización. Los principales puntos débiles encontrados, sus causas y las alternativas de solución se describen a continuación:

Tabla 2.1. Resumen de puntos débiles, causas y alternativas de solución

Problema	Causa	Alternativa de solución
Deterioro y pérdida de humedad de la caña en fábrica.	Transporte y tiempo de almacenamiento prolongados en patio. Falta de planificación.	Consolidación de un sistema de gestión. Planificar el proceso y adecuación de área.
Capacidad de planta utilizada en un 50 %.	Problemas de eficiencia, calidad del producto y mercado.	Incrementar la producción, establecer mejoras en el proceso y buscar nuevos mercados mediante publicidad.
La extracción del jugo de la caña es baja.	Ineficiencia en la extracción y control en la etapa de molinos. Falta de preparación de caña y ajuste de molinos.	Incorporar un equipo que actúe como masas preparadoras de caña. Ajuste de masas en el molino.
Panela y azúcar con impurezas.	Ineficiente sistema de limpieza.	Incorporar pre-limpiadores de jugo de

		acero inoxidable en el proceso.
Jugos mal clarificados	Proceso artesanal. Técnicas no adecuadas en la clarificación del jugo y uso de clarificantes químicos prohibidos.	Limpieza, uso de clarificantes naturales y aplicación de técnicas de clarificación eficientes.
Producto final escasamente homogéneo en la textura, forma y color que afecta la calidad, inocuidad, precio y demanda.	Control de variables en todo el proceso es subjetivo y batido manual. Moldes de panela en malas condiciones. Incumplimiento de normas de calidad (INEN 2002 a; b) . Personal no calificado en el proceso. No se envasa el producto y/o envases no aptos. No se diversifica la producción.	Aplicar criterios de intensificación para mejoras en el proceso y de reconversión para diversificar la producción hacia la competitividad. Aplicación de BPM y cumplir con normas de calidad. Incorporar el batido mecánico. Mejorar los moldes en la fábrica Envasar correctamente los productos.
- Procesos no rentables (Velásquez et al, 2004; 2005; García et al, 2010; Mendieta et al, 2011) .	No se controla los rendimientos y la valoración energética de la Hornillas es nula. Se desconoce la capacidad mínima rentable en el sector	Implementar hojas de control en cada parada, rendimientos productivos y eficiencia de hornillas. Control de calidad de productos que entran, en proceso y salen. Realizar balances de económicos
Escasa adecuación y disponibilidad en las áreas de la fábrica para acopio de caña, bagazo fresco y seco, cenizas y residuos y déficit en las instalaciones básicas.	Falta de estudio de aprovechamiento de espacios y de mejoras a sistemas y áreas obsoletas	Plan de optimización y mejora de espacios, servicios e instalaciones
Impacto ambiental negativo	Subproductos (cachaza y combustibles sobrantes no utilizados). Tiempo de secado de bagazo prolongado.	Aprovechamiento eficiente de cachaza y bagazo. Secado de bagazo rápido.
Autoridades de control ambiental en continuo acoso por contaminación.	Manejo inadecuado de productos, proceso y subproductos y nulas medidas de mitigación.	Incorporar las Buenas prácticas agrícolas y de manufactura. Realizar estudios de impacto ambiental, tomar medidas para mitigar el impacto.

Por la importancia que representa el proceso industrial y su efecto al ambiente, resulta importante realizar el balance de masa y energía así como el impacto que la empresa genera.

2.2.1 Balance de masa y energía de la panelera.

En la figura 2.1 se muestra el esquema del proceso con las entradas y salidas de productos.

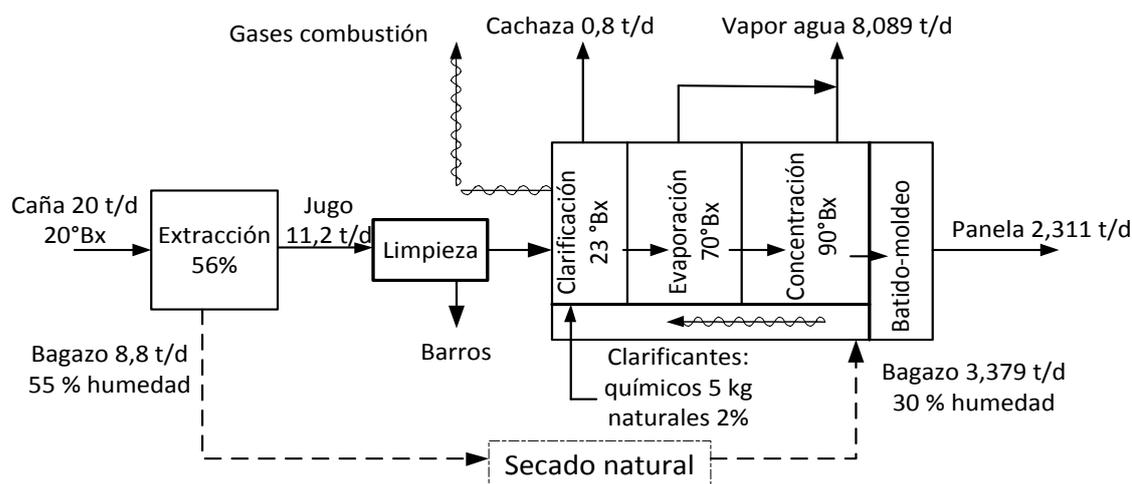


Figura 2.1 Esquema del proceso en la panelera Nápoles de la provincia Imbabura.

La hornilla panelera está construida bajo tierra y el sistema de flujo es en paralelo para el jugo y los gases. Pueden además existir flujos en contracorriente o mixtos (Prada, 2002). Consta de: cámara de combustión, puerta de entrada de aire y bagazo, área y ducto para combustión y conducción de gases, cenicero, chimenea y paredes que aíslan y evitan pérdidas de calor, que sostienen las tinas para los procesos de clarificación, evaporación y concentración en la producción de panela. En la tabla 2.2 se muestran valores promedio de temperatura y concentración que se origina en un proceso panelero (Quezada et al, 2014).

Tabla 2.2. Valores temperatura y concentración tomadas en planta en estudio.

Etapa	Temperatura (°C)		Concentración (°Bx)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Clarificación	22	94	21	23
Evaporación	94	103	23	70
Punteo	103	120	70	90

Tabla 2.3 Balance de masa (kg) y energía (kJ) de la industria en estudio.

Etapa	Entrada	Salida	Producto	Energía necesaria proceso (KJ)	
Extracción	20000		Caña	Qcl	$2,68 \times 10^6$
		11200	Jugo crudo	Qc	$1,29 \times 10^7$

56%		8800	Bagazo	Qn	1,56x10 ⁷
Purificación	11200	10500	Jugo limpio	Energía disponible (Qd)	
		800	Cachaza	VCB (kJ)	11677,54
Concentración y batido		8089	Agua	Qd	3,94x10 ⁷
		2311	Panela		
Rendimiento caña (%R)= 11, 56				%η _e	39,7
				η _b	1,46

%η_e = Eficiencia energética; η_b = Eficiencia del bagazo; %R= Rendimiento; VCB=Valor calórico del bagazo; Qcl= Calor clarificación; Qc= Calor concentración; Qn= Calor necesario; Qd= Calor disponible.

El rendimiento de panela es de un 11,56% respecto a la caña, valor que se encuentra muy cercano al límite superior reportados en Colombia que van desde el 6 al 12% (**Velásquez et al, 2005; Aldana & La Madrid, 2007**).

Los resultados de eficiencia energética de 39,7 %, son comparados con estudios realizados en Colombia que reportan un 30% (**Velásquez et al, 2004**), de un 20 al 25 % (**CORPOICA, 1996**), 33 % en evaporación abierta (**García et al, 2010**) y 13% con uso de briquetas en una panelera del sector oriental del Ecuador (**Aragón y Castellanos, 2011; 2012**). Sin embargo, este valor está muy por debajo a reportados en la India donde alcanzan valores entre el 53 al 76% (**Kiran et al, 2013**).

El rendimiento combustible-producto (kgb/kgp) obtenido es de 1,46, valor comparativo con los reportados por (**Velásquez et al, 2005**) en Colombia de: 1,8 en hornillas tradicionales antiguas; 1,5 en hornillas tradicionales recientes y 1,1 hornillas modernas, y por (**Kiran et al, 2013**) de 1,44. El valor calórico del bagazo depende de la humedad del mismo (**Kiran et al, 2013**) obtiene que, para bagazo seco, el poder calórico es de 4600 kcal/kg y 3818,6 kcal/kg para un 7 a 8 % de humedad (**Collaguazo & Játiva, 2007**) presenta, un valor calórico de 2050 kcal/kg para un 40% de humedad, y al 30% de humedad de 2868 kcal/kg según (**Mendieta et al, 2011; Garcés & Martínez, 2010**).

Si bien, los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de hornillas mejoradas, resulta importante perfeccionar todas las etapas del proceso para incrementar la eficiencia energética y disminuir el uso del bagazo por kilogramo de producto obtenido.

2.2.2 Evaluación ambiental de la panelera.

Para realizar el estudio del análisis del ciclo de vida (ACV), es necesario definir y establecer los límites del sistema según los recursos en las diferentes etapas del proceso, como se describe a continuación:

✓ Definición del objetivo, unidad funcional y alcance del ACV.

El objetivo es la producción de panela partir de la caña de azúcar, como materia prima fundamental. Se consideran las condiciones actuales de 20 t caña/día a utilizar como unidad funcional, para una producción de panela de 2,311 t/día.

✓ Establecimiento de los límites del sistema.

Se consideran dentro de los límites del sistema, la etapa agrícola y agrícola por la importancia que representan. En la figura 2.2 se representa el esquema del proceso.

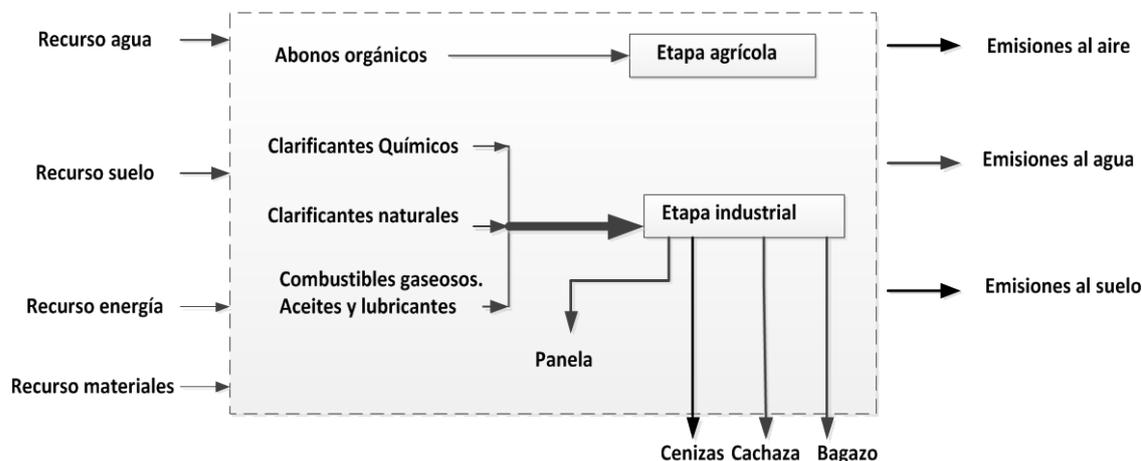


Figura 2.2. Límites del sistema para el ACV en la producción de panela.

Residuales en el proceso.

Los residuales líquidos se obtienen en las tinajas de limpieza, clarificación, concentración y la tina de lavado de moldes y materiales. Para la valoración del pH de los residuales líquidos se utilizó un equipo marca *Hanna* y la determinación de sólidos solubles un refractómetro digital marca ATAGO escala 0 a 93°B.

Los residuales sólidos principales son las cenizas producto de la combustión, bagazo y cachaza. En el caso del bagazo, si bien se utiliza como combustible en la hornilla panelera, hay un uso inadecuado del mismo en el proceso de combustión y no se valora su uso como subproducto. La cachaza se vierte al suelo o afluentes, solo en algunas ocasiones se utiliza como alimento animal.

Los residuales gaseosos fundamentales son los productos generados de la combustión en la hornilla. Para la medición de los gases, la temperatura y el ruido, se analizaron en diferentes puntos de medición a la salida de la chimenea y en el escape del motor del

molino, respectivamente. Para ello se utilizó un equipo analizador industrial de gases de combustión E-instrument 4400.

Las mediciones de ruido se realizaron en tres sectores de la planta panelera ubicados en el área de molienda cerca al motor, a la entrada de la panelera y en el área de evaporadores. Se utilizó un sonómetro marca, EXTECH Instruments. Serie: EIC 407730, rango entre 26 a 130 dB (A).

Según la norma americana, la emisión de contaminantes que pueden emitirse al ambiente, está en función del consumo calorífico, en kilogramos de contaminante por millón de unidades de energía en:

- Máximo: 0,054 kg de material particulado/106 kcal o el 1% de los sólidos de ceniza contenidos en el combustible.
- Máximo: 2,16 kg de SO₂/106 kcal o más del 30% del SO₂ el cual se formaría si todo el azufre presente en el combustible se convirtiera en SO₂.
- Máximo: 1,08 de NO₂/106 kcal, para la mayor parte de los carbones, o bien 0,9 kg/106 kcal, para el carbón subituminoso (**García, 2005**).

Los volúmenes de aguas residuales generadas producto del lavado, tinas de limpieza y concentración del jugo al finalizar la semana de trabajo, que son vertidas al suelo y zanjas muy cercanas a afluentes, se encuentran dentro de los límites permitidos (sin embargo, deben tomarse medidas correctivas para su buen manejo y uso debido a la carga orgánica que poseen (**Anexo 5**).

El pH en las aguas residuales se encuentra entre 4,64 y 5,11 y los sólidos solubles entre 2,1 y 11,3, en las diferentes etapas (**Anexo 5.1**), por lo que deben tomarse medidas para su aprovechamiento.

De acuerdo a la Legislación Ambiental, los límites permisibles de niveles de ruido ambiente establece que el límite de presión sonora dentro de una zona industrial, es de 75 dB(A) en una exposición a ruido de ocho horas diarias (**Ministerio del Ambiente, 2002**). Según el **Anexo 5.2**, el punto de muestra cercano al motor del molino tiene 83,42 dB(A) valor superior al límite permitido, por lo que deben tomarse medidas.

En la figura 2.3, se muestran los valores obtenidos para los residuales gaseosos evaluados en el motor del molino y la hornilla para dos tipos de combustible, bagazo y leña. Como promedio se observa, que el NO y CO se encuentran dentro del límite permitido. Sin embargo, en la hornilla con bagazo y en la de leña, de las 14 lecturas registradas, 3 valores superan los límites en CO, respectivamente.

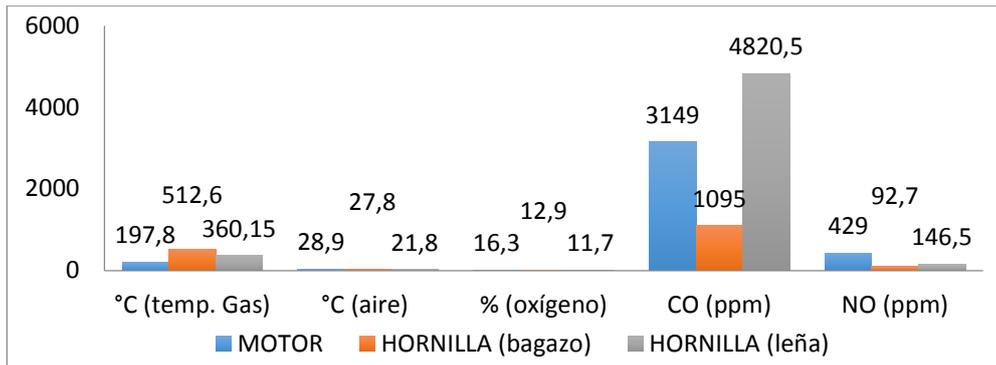


Figura 2.3. Valores promedio de los productos generados en la combustión.

Para el caso de la hornilla que opera con bagazo, las lecturas que superan los límites, coinciden al momento abastecer la carga de bagazo para iniciar proceso de combustión. Significa que la hornilla que funciona con bagazo (bajo el nivel de la tierra) realiza mejor su combustión, menores perdidas de calor y alcanza temperaturas del gas superior a la que opera con leña (sobre el nivel de la tierra). (**Anexo 5.3**).

La unidad funcional considerada en este estudio es la producción diaria de la fábrica.

Para la evaluación de los impactos ambientales se utilizó el software Sima Pro7.3, utilizando la metodología del Eco-indicador 99. En el **Anexo 5.4** se muestra el inventario del ACV para la producción de panela y en la figura 2.4 el árbol de los impactos obtenidos para la producción de panela.

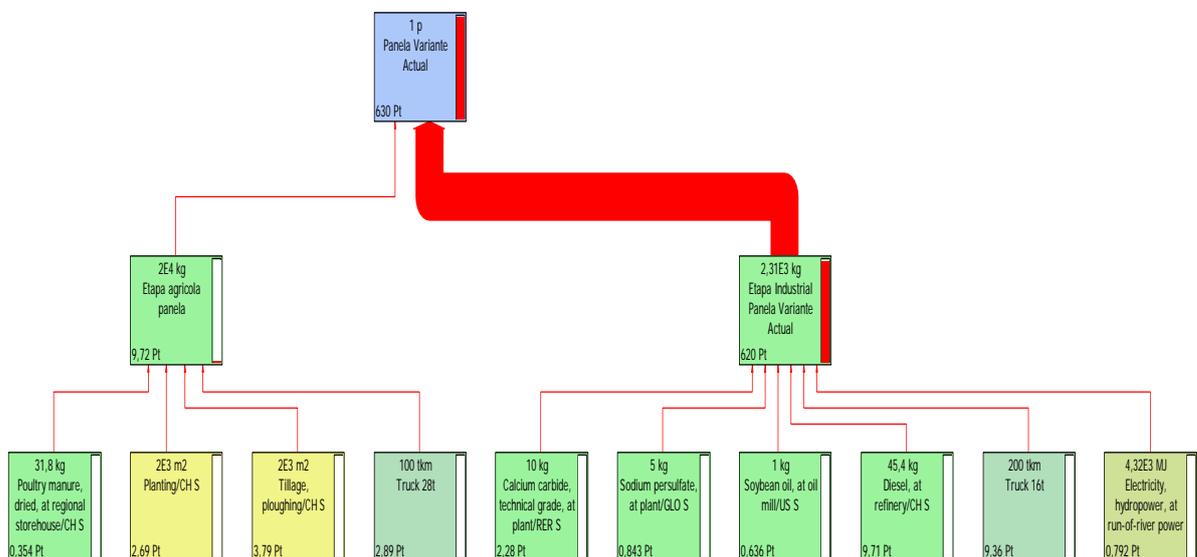


Figura 2.4 Árbol de impactos obtenidos para la producción de panela.

Según la red del proceso, la flecha roja y gruesa indica los impactos ambientales mayores y perjudiciales para el medio ambiente.

En la figura 2.5, se muestran los resultados de las contribuciones de los procesos considerados en las etapas agrícola e industrial a todas las categorías de impacto. Se puede observar, que la mayor contribución en todas las categorías de impacto la tiene la etapa industrial, siendo más representativo el impacto al cambio climático, el uso de la tierra y los combustibles fósiles.

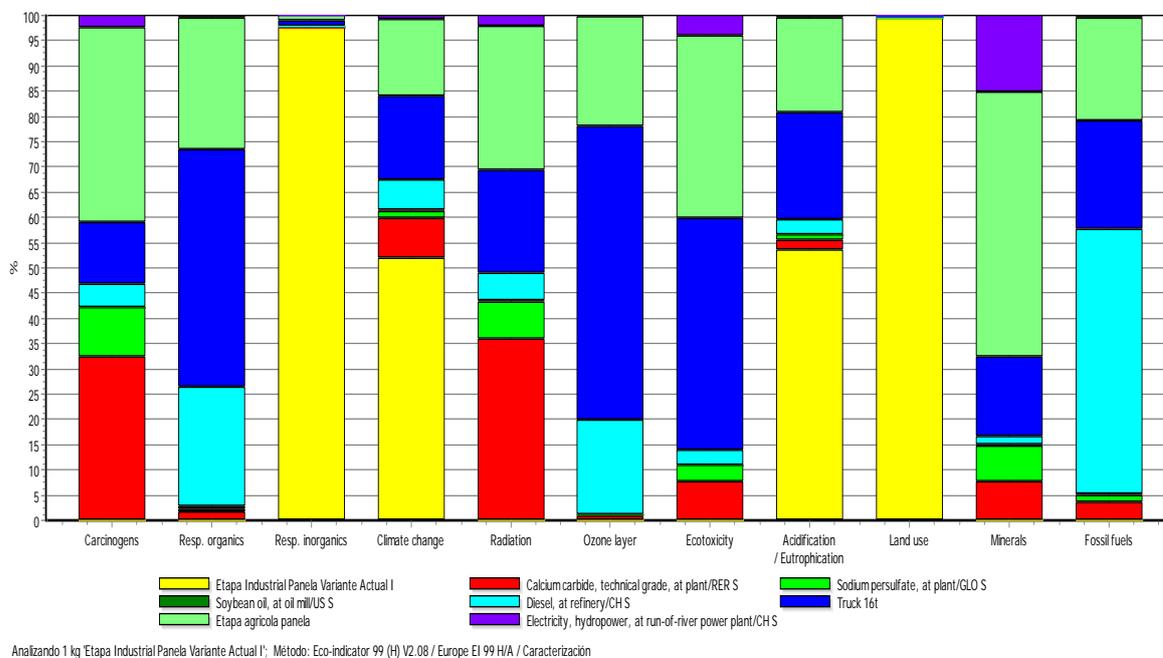


Figura 2.5. Resultados de contribución por categoría.

Del análisis de la contribución a las categorías de daño se tiene que, el proceso tiene una mayor incidencia en los daños al ecosistema, fundamentalmente debido al uso del terreno. Los efectos a la salud humana están relacionados con la respiración de compuestos inorgánicos y el cambio climático, y los efectos sobre los recursos están concentrados en el uso de combustible para la transportación y la electricidad en la etapa industrial.

El impacto ambiental que genera esta producción afecta la sustentabilidad del proceso, más aún cuando no se le da un tratamiento y uso adecuado a los principales residuales, como son la ceniza, cachaza y el bagazo.

Por otro parte, en aras de mitigar las afectaciones, se debe trabajar en mejorar la protección e higiene del trabajador; disponer de un tanque recolector de aguas residuales para proceder a un tratamiento antes de verterlo a afluentes o aprovecharlo para otros usos.

Si bien a nivel de factorías, la agroindustria panelera ecuatoriana es artesanal y rudimentaria, existen oportunidades de mejoras hacia la búsqueda de estudios de

intensificación del proceso, toda vez que permitan elevar la eficiencia, la calidad y el cuidado del medio ambiente. La Globalización y mercados demandan de productos de calidad e inocuos, bajo el slogan de producción más limpia. La matriz productiva del Gobierno del Ecuador, plantea una política de calidad (MCPEC, 2010; 2013), que orienta a una transformación de los sectores productivos, donde el subsector agroindustrial panelero está involucrado.

2.3 Propuestas de intensificación en el proceso de producción de panela.

La impronta del desarrollo tecnológico que las nuevas generaciones necesitan, exige que se trabaje en la intensificación de procesos como una alternativa viable, toda vez que logre procesos más seguros, eficientes, que aprovechen al máximo la materia prima sin consumir grandes cantidades, que generen pocos residuos, con la menor cantidad de energía posible y que contribuyan con el desarrollo sostenible del país (Lutze, 2010 & Keil, 2007).

En la figura 2.6, se representa un esquema de las propuestas de intensificación en cada etapa del proceso de producción de panela que serán estudiadas, con las variables, equipos, desarrollo de nuevos productos y criterios de calidad a incorporar, los cuales representan aportes de la investigación al sector.



Figura 2.6 Esquema de las propuestas de intensificación en la producción de panela.

En los epígrafes que siguen se realiza un análisis más detallado de las propuestas de intensificación en cada etapa del proceso.

2.3.1 Etapa de extracción y limpieza del jugo de caña.

La propuesta consiste en incrementar la capacidad de producción de la fábrica de 20 t/d a 30 t/d de caña de azúcar. Para ello se necesitan 7200 t/año de caña, con una frecuencia de trabajo de 5 días/semana. Esta demanda será cubierta por las 75 hectáreas a un promedio de 100 t/ha., suficiente para la empresa, este valor es factible, según el promedio mínimo en zonas cañeras para la producción de un cultivo (**Hugot, 1984**), valor por debajo del promedio nacional para cultivos paneleros y muy encima en la zona (**INEC, 2002**).

En la zona cálida de la provincia, existen cultivos de caña de 70 a 180 t/ha, pudiendo incrementarse con tecnología y riego a 200 t/ha (**INEC, 2002; BCE, 2007; Martín y Ramón, 2012**). El transporte de la caña debe realizarse utilizando camiones de capacidad de 5 toneladas durante 6 viajes. La distancia promedio de los cultivos a la fábrica es de 1 a 5 kilómetros. Se debe moler antes de las 24 horas después de cortada para evitar pérdidas por inversión y extracción debido a la deshidratación y fermentación que sufre la caña (**Spencer, 1967; Chen, 1991**).

La extracción en el molino es del 56%, generando pérdidas en la extracción del jugo. Se propone incrementar la extracción al 65% incorporando un preparador y ajustando correctamente las aberturas entre las masas en el molino. Se plantea que se puede llegar hasta el 69% de extracción en molinos paneleros (**Aldana & La Madrid, 2007**) y en cañas preparadas con extracción en seco es posible alcanzar el 88 % (**Hugot, 1984; Chen, 1991**).

El bagazo que sale de los molinos tiene aproximadamente 50% de humedad, entre 2 y 3% de sólidos solubles y 47% de fibra (**Hugot, 1984; Rosero, 2010**), 45 a 50 % de fibra y agua 48 a 52 % en ingenios azucareros (**Núñez et al, 2011**) y a nivel de paneleras de 45 a 60 % de humedad (**Velásquez et al, 2005**). Las etapas de limpieza y clarificación de jugos son determinantes en la calidad del producto en cuanto a impurezas, textura, color y sabor especialmente (**Prada, 2002**).

La idea consiste en incorporar tamices a la salida del jugo del molino con el objetivo de retener impurezas sólidas que obstruyen el proceso de limpieza en los pre-limpiadores. Además, cambiar los actuales pre-limpiadores por nuevos y eficientes de

acero inoxidable, de manera que el jugo llegue a las etapas siguientes libres de sólidos que flotan y sedimentan como arena, tierra, bagazo, hojas e insectos (**Anexo 6**).

2.3.2. Etapa de clarificación.

La clarificación de jugos de caña consiste en coagular los no azúcares por calentamiento a temperaturas muy cercanas a la de ebullición y separarlos con el nombre de cachaza por flotación (**Quezada, 2007b**). Se puede por lo tanto coagular y hacer flotar los coloides agregados o floculados sin romperlos. Este proceso de flotación de coloides que a veces se combina para dar una floco-flotación, se usa para clarificar las aguas potables y productos como el jugo de caña de azúcar, los jugos de frutas, entre otros. (**Salager & Forgiarini, 2007**).

En la clarificación del jugo, es común el uso de químicos con el fin de mejorar el color del producto final a pesar de estar prohibidos tanto en Colombia como Ecuador, por ejemplo el uso de aditivos no permitidos como hidrosulfito de sodio, calizas no aptos para alimentos y colorantes textiles como anilinas (**Moya, 2000; Yoplac, 2008; ACTA, 2014; Jaffé, 2014**). Actualmente, el uso de productos naturales en la clarificación del jugo de la caña, va ganando conciencia en el panelero y aceptación en el consumidor.

En la clarificación se utilizan sustancias naturales mucilaginosas, que se definen como “sustancias babosas” extraídas de la corteza de algunas plantas (**Prada, 2002**).

El mucílago es un carbohidrato complejo, derivados de glúcidos gelatinosos con una gran capacidad para retener los líquidos, por ello al hidratarse aumentan de volumen. (**Abraján, 2008; Duran, 2012**). Los mucílagos se suelen confundir con las gomas y pectinas, diferenciándose de estas sólo en las propiedades físicas. Mientras que las gomas se hinchan en el agua para dar dispersiones coloidales gruesas y las pectinas se gelifican, los mucílagos producen coloides muy poco viscosos, que presentan actividad óptica y pueden ser hidrolizados y fermentados (**Bolívar, 2010**).

En la industria panelera, se han empleado varias plantas, utilizando la corteza como producto; las más utilizadas son: el guásimo, cadillo negro y el balso, un árbol que está en peligro de extinción. (**López, 2000; Osorio, 2007; Jaffé, 2014**). Estas plantas se aplican al jugo directamente cuando se alcanzan temperaturas entre 60° y 70° C. La primera cachaza que se retira es la negra antes de la ebullición. Luego, se agrega más sustancia clarificadora para retirar la cachaza blanca, a 92° C aproximadamente (**Osorio, 2007**).

La industria azucarera define a la cachaza en general como el residuo que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido y que posteriormente es sometido a filtración, obteniéndose en forma de torta (Díaz, 2000; Hugot, 1984). Mientras que en la agroindustria panelera se define a la cachaza como residuo de impurezas separado por calentamiento y gravedad (Chungu et al, 2001; Jaffé, 2014). Capa de suciedad (scum) separado del jugo de caña (Kiran et al, 2013). Es el residuo espeso o denso que se forma en la superficie del jugo por flotación sobre por efecto del calentamiento y coagulación de los no azúcares o impurezas menos densas.

(Blanco & Zumalacárregui, 2006) valoraron la clarificación con adición de cadillo a temperaturas de 25, 50, 70 y 90°C obteniendo los mejores resultados a 25°C para soluciones de cadillo de 1,4g/100mL, argumento que se contrapone ya que en la clarificación de los jugos se trabaja a 100°C y 105°C (Rein, 2007; Hugot, 1984). Cardona, 2009).

Un aporte importante al sector con fines de aprovechamiento futuro consiste en evaluar nuevas especies vegetales, con características mucilaginosas y clarificantes para poder ser utilizadas en la clarificación del jugo para la producción de panela. Se utilizaron extractos de catorce especies de plantas, las mismas se enuncian a continuación en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Especies mucilaginosas utilizadas en la investigación.

No	Nombre común	Nombre científico	Tipo
1	Balso rojo	<i>Ochroroma pyramidale</i>	Árbol
2	Balso blanco	<i>Heliocarpus americanus L</i>	Árbol
3	Malva morada	<i>Lavatera arbórea L</i>	Planta medicinal
4	Malva gigante	<i>Malva</i>	Planta medicinal
5	Cucarda	<i>Hibiscus syriacus L</i>	Arbusto
6	Falso San Joaquín	<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	Arbusto
7	Malva silvestre	<i>Malva peruviana L</i>	Malas hierbas
8	Abrojo	<i>Bittneria ovata Lam</i>	Malas hierbas
9	Cadillo negro	<i>Triumfetta lappula L</i>	Malas hierbas
10	Moquillo	<i>Saurauia bullosa Wawra</i>	Arbusto
11	Yausabara	<i>Pavonia sepium A. St-Hil</i>	Malas hierbas
12	Yausa	<i>Abutilon insigne Planch</i>	Árbol
13	Nieve	<i>Calystegia soldanella</i>	Malas hierbas
14	Uyanguilla	<i>Basella alba</i>	Malas hierbas

Primeramente, se realizó un análisis fotoquímico cualitativo a cada una de las plantas, obteniendo como resultado, escaso o ninguna toxicidad de saponinas, taninos, alcaloides y triterpenos (Anexo 7). La poca presencia de sustancias tóxicas hace que

las plantas puedan ser aprovechadas en la industria para mejoras de productos en la alimentación, farmacología, belleza, limpieza, otros (Albornoz, 1980). Por ejemplo, el uso de la malva blanca y rosada como plantas curativas y del cadillo y falso Joaquín como ingrediente espesante y curativo en bebidas refrescantes en la tradicional horchata, es una práctica común en los pueblos del Ecuador.

Las plantas mucilaginosas se preparan, trituran en un molino de caña de laboratorio, se determina la masa de 100 gramos por ser la cantidad que presenta mejor características del producto en cuanto a viscosidad y se macera sumergiendo en un litro de agua (Quezada & Gallardo, 2014a). La extracción del mucílago se realiza manualmente (práctica común en las paneleras) estrujando y agitando para así obtener la solución mucilaginosa, se tamiza y finalmente aprovechada para diferentes usos. Los experimentos se realizan, con agitación manual y mecánica a 60 rpm a tiempos de 1 y 2 minutos, analizando como variable de control la viscosidad. Los Tiempos y velocidades se seleccionaron sobre la base de experiencias proporcionadas por los paneleros.

La viscosidad de la solución mucilaginosa, es importante en la separación de impurezas al acceder que se adhieran al mucílago o sustancia babosa y por efecto de la coagulación, flotan. Sin embargo, depende de las características propias del mucílago de la planta, ya que existen plantas que sus mucílago son espesos en frío y se funden en caliente. Sin embargo, otros en caliente se coagulan al formar las macromoléculas y se asocian a una red tridimensional que facilita la adherencia de los no azúcares por efecto de la retención del agua (Albornoz, 1980; Quezada & Gallardo, 2014a).

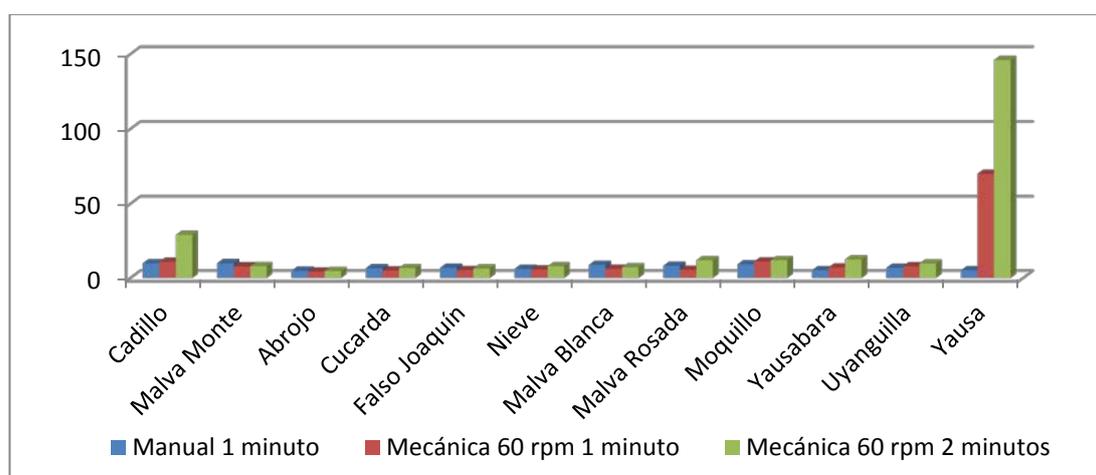


Figura 2.7 Comportamiento de la viscosidad de las soluciones mucilaginosas.

En la figura 2.7 se muestra el comportamiento de la viscosidad de las soluciones mucilaginosas de las diferentes especies. Esta variable no se ha tenido en cuenta en la industria, de ahí que los estudios de las diferentes especies mucilaginosas sean los primeros en el sector panelero.

Se puede observar, cómo existe un comportamiento similar en la forma de agitación de la solución mucilaginosa para la mayoría de las especies, a diferencia de la Yausa y los balsos, siendo los resultados de viscosidad mayores cuando la agitación se realiza de forma mecánica a 2 minutos. Los mayores valores de viscosidad se muestran para la Yausa mostrando diferencia significativa en la forma de agitación de la solución mucilaginosa.

En el caso de los balsos blancos y rojos, arrojaron resultados elevados de viscosidad, con agitación manual, 674 y 602 cP, agitación mecánica con 1 minuto, 270 y 110 cP, y 2 minutos de agitación 460 y 520 cP, respectivamente. Es importante destacar, que si bien esta especie es muy utilizada por los paneleros, no se tenía el conocimiento de los elevados valores de viscosidad que tienen, de ahí, la necesidad de los paneleros de incorporar químicos para mejorar la eficiencia de la clarificación.

Para valorar el efecto clarificador de todas las especies vegetales se realizaron experiencias determinando el nivel de turbidez en los jugos. En la figura 2.8 se muestra el comportamiento de la turbidez para las diferentes especies.

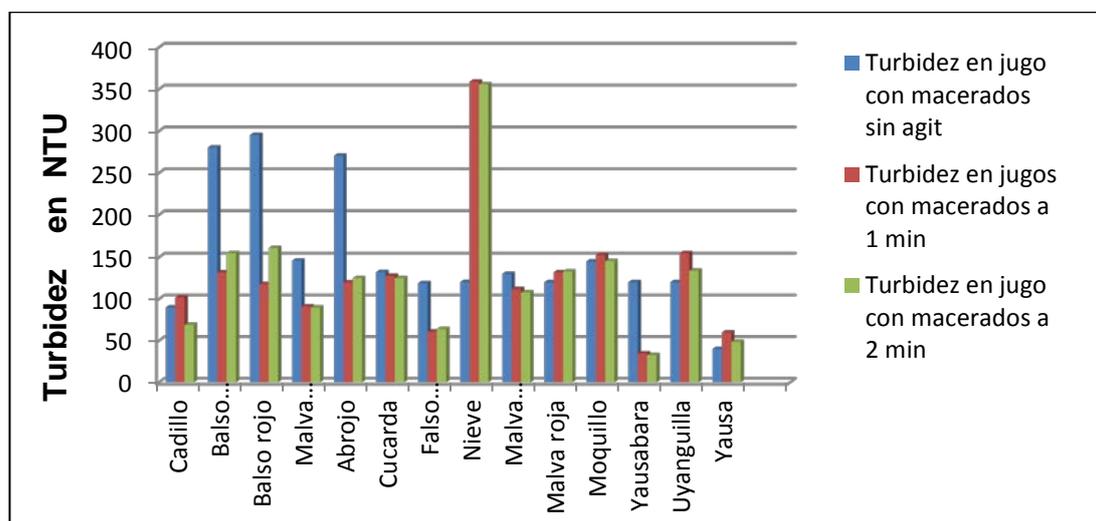


Figura 2.8 Comportamiento de la turbidez de las soluciones mucilaginosas en la clarificación.

Se puede observar como el cadillo, la malva del monte, el Falso Joaquín, la Yausabara y Yausa, logran menores valores de turbidez en el jugo con agitación mecánica a 60 rpm durante 2 minutos a concentraciones de 100 g/L.

Los valores de turbidez en jugos clarificados y tratados con mucílagos de plantas de Yausabara se encuentran entre 32,7 a 46,9 NTU y para la Yausa de 40,1 a 60,1 NTU, que comparados con muestras de jugos tratados en un ingenio azucarero de la zona, dan resultados de 46,15 NTU, donde utilizan procesos de clarificación continua y de 62 NTU en clarificador SRL (**Quezada & Gallardo, 2014a; Cardona, 2009; Hugot, 1984; Chen, 1991**).

Para el caso del balso, a pesar de proporcionar valores elevados de viscosidad, la eficiencia en la clarificación no es buena, ya que presenta valores de turbidez mayores a 100 NTU generando que muchos paneleros lo utilizan combinado con hidrosulfito de sodio. Por otra parte, aunque la malva del monte presenta valores bajos de turbidez, no se considera en los estudios que siguen a continuación, por ser una planta desconocida en el sector panelero ecuatoriano, pero se puede considerar para futuras investigaciones.

Al no existir un estudio comparativo de la variable turbidez para las especies mucilaginosas y con el fin de establecer la mejor especie vegetal con fines de clarificación de jugos de caña, el autor considera favorables los resultados de turbidez menores de 100 NTU. Además, valora el efecto clarificador de la(s) especie(s) bajo el criterio de claro y brillante según términos azucareros (**Batule, 2004**), y que son plantas utilizadas artesanalmente para este fin.

A manera de resumen, se obtiene que la agitación mecánica influye positivamente en la extracción del mucílago y en la clarificación para la mayoría de las especies vegetales considerando la variable respuesta turbidez. En el **Anexo 7.1** se muestra el esquema de obtención de la solución mucilaginoso y la clarificación del jugo (**Quezada & Gallardo, 2014b**).

Para continuar el estudio, se realiza un diseño de experimentos 2^3 , con el objetivo de determinar las mejores condiciones operacionales en la etapa de clarificación con la adición de los mucílagos y la especie vegetal de mejores características. Para ello se consideran, las especies que mejores resultados arrojaron en el estudio comparativo, el cadillo, el falso Joaquín, la Yausabara y la Yausa a las concentraciones de 75g/L y 100g/L.

(Osorio, 2007) plantea que al incorporar un exceso de solución mucilaginosa por encima de 10% obtiene efectos desfavorables en la turbidez del jugo (jugos espesos). Por otro lado, (Culqui & Zamaeta, 2011) valora resultados de valores promedios de mucílago al 5% de malva y 4 % para linaza. Por tanto, se considera establecer un rango entre 2% y el 8% de adición de solución mucilaginosa con respecto al jugo. Se conoce que en el lugar de la investigación el punto de ebullición del jugo es de 93°C a 2200 msnm, y teniendo cuenta (Osorio, 2007) que obtiene resultados positivos entre 60 y 70°C, por tanto, se consideró establecer niveles de temperatura entre 50 y 90°C.

En la tabla 2.5 se representan las variables y niveles estudiados. La variable respuesta a controlar fue la turbidez, medida en un Turbidímetro Hanna. Para el procesamiento estadístico de resultados se utilizó el software Statgraphics Plus 4.1.

Tabla 2.5. Variables y niveles en el estudio en la clarificación.

Factores	Niveles		Unidades	Variable respuesta. Turbidez (T)
	Bajo	Alto		
Concentración planta (X_1)	75	100	g/L	NTU*
Temperatura (X_2)	50	90	°C	
Solución mucílago jugo (X_3)	2	8	%	

En la tabla 2.5 y 2.6, se muestran los valores de turbidez y los modelos matemáticos obtenidos de la acción de los mucílago en las cuatro especies vegetales analizadas.

Tabla 2.6. Turbidez promedio según el tipo de mucílago.

Exptos	X_1	X_2	X_3	Turbidez NTU			
	g/L	°C	%	Yausabara (T_{YB})	Yausa (T_Y)	Cadillo (T_C)	Falso Joaquín(T_{FJ})
1	-1	1	-1	72.33	77.00	113.00	136.00
2	1	1	-1	59.67	85.33	80.00	98.00
3	-1	1	1	47.84	80.17	86.67	96.00
4	1	-1	1	99.00	119.67	143.00	159.67
5	-1	-1	1	138.33	140.00	188.00	170.33
6	-1	-1	-1	157.00	187.67	234.67	204.00
7	1	1	1	40.30	54.00	75.33	72.00
8	1	-1	-1	140.33	169.33	183.00	201.33

Los menores valores de turbidez, para cada especie mucilaginosa, corresponden en todos los casos para los mayores niveles de las variables X_1 , X_2 , X_3 . Estos resultados ratifican que en el proceso de clarificación, la incorporación del agente clarificante

debe hacerse a elevadas temperaturas, contrario a lo señalado por (**Blanco & Zumalacárregui, 2006**), donde utiliza soluciones de cadillo de 1,4g/100ml a 25°C y controla la viscosidad a la salida y no la turbidez como variable de control en la clarificación.

Los mucílagos de Yausabara y Yausa incorporados al jugo de caña, dieron mejores resultados (menor turbidez) en el jugo clarificado con características de claro y brillante, condiciones para un proceso eficiente de clarificación rápida por flotación de las impurezas o no azucares y coloides coagulados por acción del calor. Las características de los mucílagos de estas especies permitieron la coagulación de gomas, grasas, ceras, albúminas y la adherencia de pigmentos, dando una cachaza consistente y firme.

Tabla 2.7. Modelos matemáticos para las diferentes especies mucilaginosas.

Modelos	R ² (%)
$T_{Yb}=94,3504-9,5254X_1-39,3163X_2-12,9829X_3+4,4746X_1X_2-2,1921X_1X_3+2,01708X_2X_3+3,4746X_1X_2X_3$	98,9
$T_Y=113,967 - 7,2411X_1-39,8423X_2-15,5089X_3+2,7827X_1X_2-4,3839X_1X_3+8,4673X_2X_3-4,2411X_1X_2X_3$	98,7
$T_C=137,958-17,625X_1-49,2083X_2-14,7083X_3+6,54167X_1X_2+3,54167X_1X_3+6,95833X_2X_3+1,875X_1X_2X_3$	99,9
$T_{FJ}=142,167-9,41667X_1-41,6667X_2-17,6667X_3+6,0833X_1X_2+0,75X_1X_3+1,1667X_2X_3+2,75X_1X_2X_3$	99,4

Los modelos matemáticos de ajuste responden satisfactoriamente a coeficientes de regresión R² por encima del 98 %. Se muestra una significación de todas las variables en cada uno de los modelos. La Yausabara logra menor turbidez en interacciones de la temperatura y la solución especialmente, seguido de la Yausa, obteniendo jugos claros y brillantes, con la consideración que la Yausa es un árbol. Un exceso de mucílago superior al 8% es perjudicial al jugo, dando una consistencia blanda y babosa (**Fernández, 2003**) y no alcanza la característica de claro y brillante, como es el caso del cadillo y falso Joaquín.

Al analizar los efectos de las variables y sus interacciones, se obtiene que todas las variables sean significativas e influyen en el proceso. La variable temperatura ofrece mayor significación para todas las especies mucilaginosas, lo cual justifica el efecto de la misma en la clarificación del jugo hacia mejores resultados. Las variables solución y concentración de mucílago, también son significativas, pero en menor medida, así como las interacciones entre todas las variables (**Anexo 8**).

Los mejores resultados se obtienen para concentración de mucílago de 100 g/L, 8% de solución mucilaginoso a incorporar y temperatura de 90°C.

Por tanto, se propone la Yausabara como mejor especie vegetal para la preparación de soluciones mucilaginosas y la clarificación de jugos para la producción de panela. Es importante señalar, que esta especie es considerada una mala hierba, que crece con facilidad en los campos y para el caso de incrementos de capacidad, se puede valorar cultivos intensivos. Para los productores paneleros representa una alternativa viable, toda vez que sustituyan especies más difíciles de lograr (árboles y arbustos) y que se encuentran en peligro de extinción.

2.4 Intensificación en las etapas de evaporación y concentración de la miel.

La evaporación y concentración son etapas críticas que suceden en un ingenio azucarero y que no difieren de una fábrica panelera, pues de ello depende la calidad y el rendimiento del producto.

La intensificación en estas etapas consiste en la elaboración de un nuevo producto, la miel hidrolizada y en la determinación de los puntos de ebullición para la miel hidrolizada, la miel, panela y azúcar natural a diferentes altitudes de la geografía ecuatoriana. Estas propuestas representan un aporte al desarrollo de la industria panelera ecuatoriana.

2.4.1 Producción de miel hidrolizada.

La miel de caña, es un hidrato de carbono, producto de la concentración de sustancias azucaradas de la caña, constituida casi en su totalidad por azúcares invertidos, sacarosa y agua. Es viscosa y de sabor dulce, traslúcido, de color café claro rojizo brillante (**Quezada, 2007b**), muy similar a la textura de la miel de abejas.

La miel hidrolizada de caña de azúcar, como producto nuevo y novedoso requiere del control de pH del jugo, temperatura y concentración en el proceso. Estudios relacionados a obtener miel hidrolizada son escasos, prueba de ello es que no existen normas de calidad para este producto y algunos esfuerzos se evidencian en estudios de inversión para la producción de miel de caña para exportación. El estudio comienza desde la obtención de jugo de caña, limpieza y clarificación natural utilizando el mucílago de Yausabara como clarificante natural considerando los mejores resultados obtenidos anteriormente, de concentración de mucílago de 100 g/l , 8% de solución mucilaginoso a incorporar y temperatura de 90°C (**Quezada y Gallardo, 2014b**). Posteriormente se adiciona a 95°C el ácido cítrico hasta alcanzar el pH adecuado, se

evapora, enfría y envasa. El ácido cítrico es utilizado en la alimentación como conservante y antioxidante y supresor del pardeamiento en dosis de 0,05 a 2% (Francois, 2013). El proceso se indica en el Anexo 9. En mieles de caña incorpora utiliza en dosis de 0,04% para evitar la cristalización y atractivo en el color, el metabisulfito de potasio 1% y ácido benzoico 0,5% como conservantes y estable al ambiente durante 8 a 10 días (Singh et al, 2013).

El estudio se realizó a 2150 msnm (metros sobre el nivel del mar), mediante un diseño de experimentos factorial 3^2 ; considerando los factores, niveles y variables respuestas del producto que se observan en la tabla 2.8.

Para este caso, se consideran los factores pH y concentración. Las variables respuestas se analizaron mediante evaluación sensorial utilizando un panel de 10 catadores para la viscosidad, el sabor como grado de acidez y la presencia de cristales después de 15 días de elaborado el producto.

Los valores de las respuestas se midieron en una escala de 0 a 10 en cada caso. Los valores altos para productos que son mayormente aceptados y bajos para los escasamente aceptados, según el caso. El nivel superior de pH, se estableció de acuerdo al pH del jugo normal de 4,5 a 5,5 (Hugot, 1984; Quezada, 2007a, b). Los niveles de concentración se fijaron de manera cualitativa en, altos, medio y bajo según (Quezada y Gallardo, 2014b). Valores de temperatura para miel de caña o syrup están entre 103 a 106°C y que corresponden a concentraciones propuestas (Quezada et al, 2014; Singh et al, 2013).

Tabla 2.8. Factores, niveles y variables respuesta en el producto.

Factores	Niveles			Variables respuesta		
	Bajo	Medio	Alto	Viscosidad (Yv)	Sabor (Ys)	Presencia cristales (Yc)
pH: X ₁	3,5	4	4,5	Sensorial	Sensorial	Sensorial
Concentración (Bx): X ₂	74	76	78			

Los resultados son evaluados en el software Statgraphics 4.1 y se muestran en la tabla 2.9, así como los modelos matemáticos de ajuste en la tabla 2.10.

Tabla 2.9. Resultados del diseño de experimentos.

Exptos	X ₁	X ₂	Yv	Ys	Yc
1	-1	1	0,7	1,9	3,2

2	0	0	9,6	8,6	9,1
3	-1	-1	3,8	2	9,3
4	1	-1	2,1	9,2	7
5	0	1	0,8	8,6	2,9
6	-1	0	9,5	2	9,2
7	1	0	9	8,3	6,8
8	1	1	0,8	8,9	1,2
9	0	-1	2,3	8,8	9,2

De los resultados se puede obtener que, los mejores valores de aceptación del producto de las tres variables respuestas se dan a pH y concentraciones en sus niveles medios (experimento 2) y pH en su nivel alto y concentración media (experimento 7). Si bien el experimento 6 resulta aceptable para las variables respuestas viscosidad y formación de cristales, no favorece al sabor por encontrarse en el nivel bajo, generando un sabor altamente ácido del producto. De igual manera, el experimento 9 resulta aceptable para las variables respuesta sabor y formación de cristales, no favoreciendo a la viscosidad del producto por estar en el nivel bajo de concentración, es decir se aprecia una alta fluidez del producto al verterlo.

Tabla 2.10. Modelos matemáticos de las variables respuestas.

Modelos	R ² (%)
$Y_v = 9,31111 - 0,35 * X_1 - 0,983333 * X_2 + 0,0833333 * X_1^2 + 0,45 * X_1 * X_2 - 7,6166 * X_2^2$	99,69
$Y_s = 8,48889 + 3,41667 * X_1 - 0,1 * X_2 - 3,28333 * X_1^2 - 0,05 * X_1 * X_2 + 0,266667 * X_2^2$	99,74
$Y_c = 9,0 - 1,11667 * X_1 - 3,03333 * X_2 - 0,95 * X_1^2 + 0,075 * X_1 * X_2 - 2,9 * X_2^2$	99,89

Para el caso de la viscosidad, el modelo matemático (Y_v) ajusta para un coeficiente de correlación R² de 99,69%. La mayor significación viene dada por la concentración. A medida que disminuye la concentración disminuye la viscosidad, es decir, el producto es menos denso, y es más aceptado, pero a niveles medios. Sin embargo, a niveles bajos, el producto es menos viscoso y por ende, desagradable el producto.

Para el sabor, como grado de acidez, el modelo matemático (Y_s) ajusta para un coeficiente de correlación R² de 99,74%. La variable de mayor significación es el pH, es decir, a valores de pH en niveles bajos, la acidez es mayor y menos admitida el producto. A medida que el pH se incrementa el grado de aceptación es mayor.

El modelo matemático obtenido para la presencia de cristales (Y_c) ajusta para un coeficiente de correlación R² de 99,89%. Se observa una mayor significación de la

variable concentración, seguido del pH. A niveles de pH y concentración altos, la presencia de cristales es evidente, consecuentemente el producto es menos aceptado.

De los tres modelos matemáticos obtenidos, el modelo para la presencia de cristales (Yc) brinda mayor criterio para el estudio de la miel hidrolizada toda vez, que considera la significación de los dos factores evaluados a niveles intermedios, y además responden a una aceptación mayor del producto.

En las figuras 2.9, 2.10 y 2.11 se pueden observar los diagramas de Pareto y los gráficos de los efectos de las variables, según su comportamiento, para la viscosidad, la acidez y la formación de cristales, respectivamente. Para la viscosidad, figura 2.9, existe una influencia significativa de la concentración y no del pH, donde la aceptación del producto es favorable a valores intermedios y desfavorables a valores extremos. Para el sabor figura 2.10, depende significativamente del variable pH y no de la concentración. La aceptación respecto al sabor es mayor cuando el pH está a valores intermedios y altos. Finalmente, para la formación de cristales figura 2.11, son significativas y depende las dos variables, donde a valores medios se logra mayor aceptación.

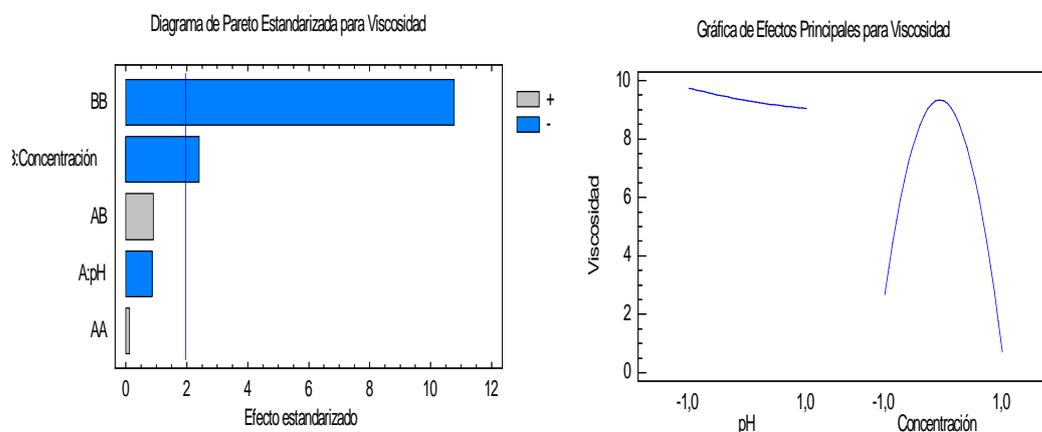


Figura 2.9. Comportamiento del pH y la concentración para la viscosidad.

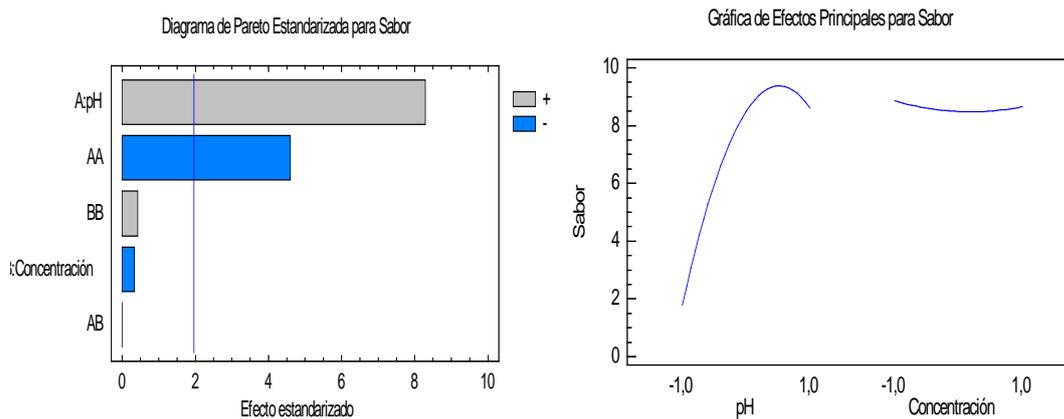


Figura 2.10. Comportamiento del pH y la concentración para el sabor como acidez.

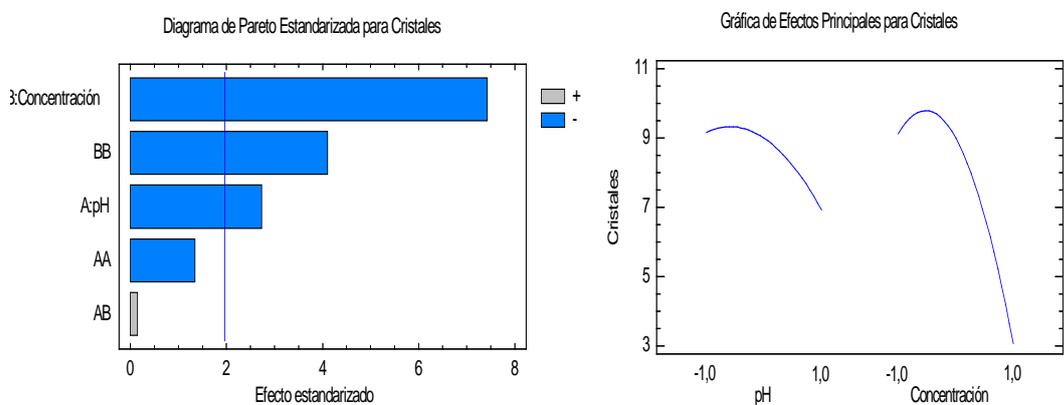


Figura 2.11. Comportamiento del pH y la concentración para la formación de cristales. Al aumentar el Brix y el pH, disminuye el tiempo de cristalización, sin embargo, una combinación adecuada de las dos variables permite incrementar el tiempo de cristalización.

La aceptación del sabor, expresado como acidez, depende del pH en su valor medio ($4 \pm 0,2$) y de la concentración adecuada del producto de ($76 \pm 0,8$), que está estrechamente relacionado con la temperatura de concentración que le corresponde a ($106 \pm 0,8$) °C.

Para estabilizar y alcanzar tiempos de vida útil largos, se necesita manipular variables de pH y temperatura final de punteo del producto. La temperatura del jugo para acidificar es 95 ± 1 °C, hasta un pH de $4 \pm 0,2$.

El ácido cítrico debe incorporarse a temperaturas superiores a las de ebullición en jugos limpios (descachazados) dando un producto final, claro y brillante. Acidificar jugos por debajo del valor indicado no se logra un color adecuado del producto, ya que el ácido es un solubilizador de colorantes (Francois, 2013). Otros acidifican hasta pH de 4,5 a 5,5 temperaturas de 50 a 60°C (Duran, 2007; 2011), sin embargo vale

reflexionar estos valores, considerando que en el jugo de caña concentrado sin acidificar, empieza la formación de cristales a concentraciones de 77 a 80°B y a pH de 4,5 a 5,5 cuando se trata de jugo de caña natural, donde se modifica la naturaleza del material al pasar progresivamente del estado líquido a una condición en parte sólida y en parte líquida (**Hugot, 1984**).

En el **Anexo 9.1**, se puede apreciar cómo aparece la formación de cristales a medida que transcurren los días de almacenamiento. A valores superiores de la media en pH y concentración la cristalización es evidente en la miel.

La presencia de cristales después de elaborado el producto es directamente proporcional a la concentración y temperatura de punteo. Una miel que presenta cristales de azúcar es señal suficiente de una incorrecta inversión de la sacarosa, es decir, pierde las características de miel.

Del estudio se obtuvo, que una miel hidrolizada, procesada considerando estas variables y envasada en material de vidrio en caliente, permanece y mantiene las características de miel por más de 12 meses de olor, color, viscosidad, sabor y ausencia de cristales en el producto (**Anexo 9.2**).

2.4.2 Determinación de las temperaturas de punteo.

La concentración del jugo de la caña tiene una relación directa con la temperatura de ebullición de la solución azucarada, cumpliendo con una de las propiedades coligativas de las soluciones no electrolíticas.

La determinación de la temperatura de punteo para la miel, panela y azúcar natural, y para la miel hidrolizada, como nuevo producto, según la ubicación geográfica de la planta (msnm), resulta importante para el panelero, toda vez que favorece en una correcta eficiencia en las etapas de evaporación y concentración de manera que permita obtener productos homogéneos en color y dureza del producto final. Una mayor inversión de sacarosa para la miel hidrolizada y evitarla para panela y azúcar natural, son condiciones para determinar temperatura final de concentración de estos productos. La inversión de sacarosa es progresiva al disminuir el pH de la solución. El porcentaje de inversión de sacarosa por hora a 100°C empieza a pH de 6.5, donde a pH de 5 la inversión es del 2% y a pH de 4,5 del 6% (**Chungu et al, 2001**).

La temperatura de ebullición del jugo de caña, depende de la concentración y de la altura geográfica. En la tabla 2.11 se muestran variaciones de la temperatura de

ebullición para el jugo y en la tabla 2.12, diferentes temperaturas de punteo, según resultados obtenidos por varios autores.

Tabla 2.11 Variaciones de la temperatura de ebullición según la altitud.

Autores	Resultados	
	Temperatura de ebullición	Altitud
Pawar & Dongare, 2001-a.	98 - 99°C	574 msnm
Hernández & col., 2001.	98,7 - 99,8°C	560 msnm
Mujica et al, 2008	95 y 97 °C	1150 msnm
Quezada, 2007b	94°C	1800msm

Tabla 2.12 Variaciones de la temperatura de punteo según la altitud.

Autores	Resultados		
	Temperatura punteo °C	Altitud msnm	Producto
Espinosa, 1997; Barahona, 2002.	124 a 126	1700	Azúcar
Culqui & Zamaeta, 2011.	126	1710	Azúcar
Granda, 2010	120	1525	Panela

La discrepancia de valores conlleva a la necesidad de contar con curvas de control en diferentes altitudes para temperatura y concentración del jugo de caña *in situ* ya que, dependen de la altura sobre el nivel del mar del sitio donde se elabore la panela (Mujica et al, 2008).

Para llevar a cabo la investigación, se realizó un estudio en varias paneleras del país según la altura geográfica. En cada una de las paneleras, se trabajó siguiendo el flujo de producción para la obtención de los productos finales, miel hidrolizada, panela y azúcar natural y manteniendo las mismas condiciones y parámetros operacionales (Quezada et al, 2014).

En la tabla 2.13 se muestran los resultados obtenidos de los puntos de ebullición para el jugo de caña y las temperaturas de punteo para la miel hidrolizada, panela azúcar natural, según la altitud geográfica bajo la cual fueron procesados.

Tabla 2.13. Resultados de los puntos de ebullición y temperatura de punteo.

Producto/Altura	Concentración	Temperaturas °C (±5)					ΔT(°C)
	Brix(±0,5)	200 msnm	670 msnm	1150 msnm	1650 msnm	2250 msnm	
Jugo de caña	22	101	99	97	95	93	8
Miel Hidrolizada	76	111	110	109	107	104	5
Panela	90	125	124	122	120	118	7

Azúcar natural	96	129	127	126	125	124	5
----------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	---

Se puede observar, que el punto de ebullición depende de la altura de ubicación de la planta (msnm) para la concentración correspondiente de la solución (°Bx). Para un mismo producto hay variaciones de 5 °C y de 7 °C entre los extremos de altitud, dando diversidad de texturas y color en el producto. Los resultados son comparados con los diferentes autores de las tablas 2.9 y 2.10. Algunos autores, como (Mujica et al, 2008) también obtienen panela con tonos claros para valores de 123°C de temperatura de punteo.

En la figura 2.12, se observan las curvas de calentamiento, las cuales muestran que la velocidad del incremento del punto de ebullición es menor a concentraciones bajas y mayor a concentraciones altas. Consecuentemente, la temperatura de ebullición del jugo, es directamente proporcional con la concentración de sólidos disueltos en la solución, según datos promedios de una panelera en la zona de estudio.

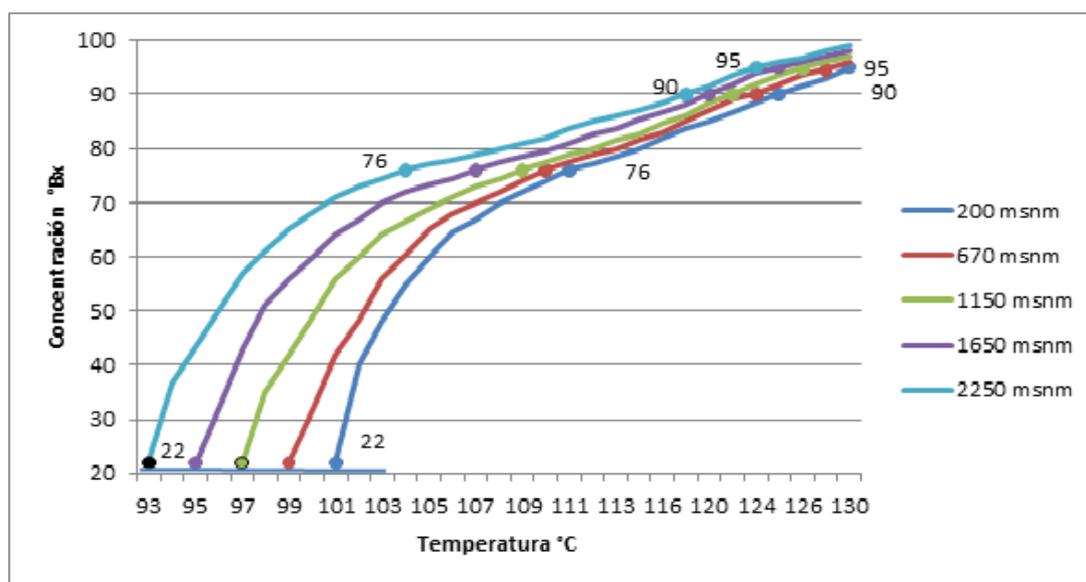


Figura 2.12 Comportamiento de la temperatura-concentración a diferentes altitudes.

Las curvas de calentamiento constan de una fase inicial ascendente en la cual aumenta la temperatura a una velocidad aproximadamente constante, luego le sigue la fase de ebullición en la cual la temperatura se mantiene casi constante (98,7°C – 99,8°C), propia de las soluciones que no son puras, y por último la temperatura aumenta a una velocidad mayor a la de la fase inicial, hasta alcanzar la temperatura de punteo. Estos resultados son comparados por (Mujica, 2007). A partir de los 105°C, la solución se

concentra con mayor rapidez que en soluciones diluidas, por tanto, debe considerarse este aspecto y poner marcada atención en la temperatura de punteo.

La determinación de la temperatura de punteo para los diferentes productos, con la altitud geográfica a la que se encuentra ubicada la panelera, representa un aporte importante para el panelero toda vez que facilita la eficiencia y control en el proceso de evaporación concentración, y por consecuencia un producto final de mejor calidad.

2.5 Propuesta de batido mecánico de la miel.

El batido de la miel para panela granulada nombre vulgar y nombrada correctamente azúcar natural, se realiza de forma manual. La miel se bate durante 15 minutos en una bandeja de acero inoxidable, enfriando simultáneamente con un ventilador para lograr su granulación, y se continúa con el enfriamiento por 20 minutos adicionales, para posteriormente tamizar y envasar (**Mujica et al, 2008; Mosquera, 2007**).

El azúcar natural se obtiene por cristalización natural y se sustenta en la formación del cristal de azúcar por el método natural o espontáneo a sobresaturaciones de 1,4 a 1,5 a presión atmosférica (**Quezada, 2007b**) en la zona lábil, donde los cristales existentes crecen y pueden formarse otros aún en ausencia de cristales a 1.44 máximo de sobresaturación (**Hugot, 1984; Chen, 1991; Ribeaux, 2011**). La sobresaturación es la diferencia de concentración entre la disolución sobresaturada cuando el cristal crece y la disolución en equilibrio con el cristal (**McCabe et al, 1998; Núñez et al, 2011**). Para la cristalización a 60, 70 y 80 de pureza le corresponden valores de sobresaturación límite de 1,5; 1,3 y 1,25 para la zona metastable y lábil y que además la velocidad de cristalización depende de viscosidad, agitación, impurezas y temperatura, presión (**Hugot, 1984; Chen, 1991**).

Para panela, el pH entre 5,6 a 6 es factible moldear el producto con facilidad y en azúcar natural valores entre de 6,2 a 6,8 la cristalización es óptima (**Prada, 2002; Mosquera; 2007**).

Para la industria panelera en condiciones actuales y utilizando el método natural de cristalización variables como la concentración final, velocidad de agitación, tiempo de reposos acompañado de la experiencia del melero u operario, han sido básicos en el proceso en la cristalización.

El batido manual tiene sus desventajas, fundamentalmente en el color de la panela y el azúcar natural, y en este último afecta negativamente en la formación de conglomerados o terrones, alcanzando hasta el 6 % de la producción total, según datos

de la panelera Gardenia. Se estima que por cada 454 kg., de azúcar natural obtenido, de 136 a 180 kg., son terrones, que deben ser disueltos para reprocesar o destinarlos para otros usos (alimentación animal) afectando la economía del productor.

El tiempo de batido difiere entre el batido para panela en bloque y para azúcar natural. Para conseguir la granulación del azúcar, el tiempo debe ser superior al que se necesita para enfriar la miel hasta el punto de panela en bloque. Conforme la masa batida se va enfriando, va perdiendo humedad de forma acelerada, originando una masa granulada a partir de una masa viscosa. Una vez cristalizada la miel, se debe esperar aproximadamente 18 minutos para que la panela se seque con la ayuda del aire y algunas veces de ventiladores eléctricos de aspas, colgados del techo en la sección de pulverizado (**Pronatta, 2002; García, 2003; Mujica, 2007**). Para 8 kilos emplea 10 minutos en un prototipo (**Collaguazo & Játiva, 2007**).

Se consideró, según (**Sandoval, 2004; Sandoval et al, 2002**) el batido de panela a velocidades de 120 a 150 rpm, e indica que diseños de máquinas a pequeña escala es viable para productos en serie (**Collahuazo & Jativa, 2007**) propone velocidades entre 70 y 80 rpm (**Anexo 10**).

Control en el proceso de batido manual en diferentes unidades productivas de panela logra cristalizar entre 25 a 50 kg de producto a una velocidad de entre 70 a 130 rpm y utiliza de 10 a 15 minutos respectivamente entre batido - reposo - batido - enfriamiento, según el operario y temperatura de concentración.

Una de las principales características del batido manual, es el tiempo y el esfuerzo necesario requerido por los operarios para poder granular la masa de meladura, lo que hace que la velocidad no sea constante, y se prolongue el tiempo de batido, haciendo menos eficiente el proceso productivo.

Por tanto, resulta importante evaluar las condiciones de operación del batido en la producción de panela y azúcar, como la carga, velocidad, tiempo, flujo de aire, formación de conglomerados, para lograr homogenizar el producto e intensificar la producción de panela y azúcar. La formación de conglomerados y falsos granos se debe a un inadecuado proceso de agotamiento (**Hugot, 1984; Chen, 1991**).

Para el batido mecánico, se utilizó un flujo volumétrico de aire de 2200 L/h, cuyas condiciones de trabajo se dieron a 80% de humedad relativa. El enfriamiento del producto se realizó durante la etapa de batido, a través de un ventilador axial incorporando aire directamente a la masa.

Se planteó un diseño de experimentos del tipo factorial 2^3 , como se indica en la tabla 2.14 con las variables y sus niveles para el azúcar tamizado y en la tabla 2.15 los resultados obtenidos.

Tabla 2.14. Factores, variables y niveles de batido mecánico para el azúcar natural.

Factores	Batido mecánico		Variable respuesta, Yat	
	Unidades	Niveles		
		Bajo		Alto
Temperatura: X ₁	(°C)	124	126	% azúcar tamizado
Velocidad: X ₂	(rpm)	95	125	
Tiempo: X ₃	(min)	5	6	

Tabla 2.15. Valores del parámetro porcentaje de azúcar.

Exptos.	X1	X2	X3	Y1
1	-1	-1	-1	38,765
2	-1	1	-1	40,895
3	-1	-1	1	38,260
4	-1	1	1	24,735
5	1	-1	1	37,915
6	1	1	1	36,075
7	1	-1	-1	66,295
8	1	1	-1	36,335

De los valores experimentales se obtienen los valores de los coeficientes del modelo, para un nivel de confianza R^2 de 98,56%.

$$Y_{at} = 39,9094 + 4,2456 \cdot X_1 - 5,3994 \cdot X_2 - 5,6631 \cdot X_3 - 2,5506 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,4969 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,5581 \cdot X_2 \cdot X_3 + 5,4719 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

De acuerdo con la significación de los coeficientes del modelo, el efecto de las variables independientes sobre el parámetro respuesta porcentaje de azúcar tamizado, es mayor para el experimento 7 cuando se encuentra en sus niveles más alto de temperatura y bajo en la velocidad y tiempo, lo que equivale a 33,7% de conglomerados retenidos; este valor se encuentra dentro del rango obtenido y reportado por la empresa Gardenia en el 2011 entre 30 a 40% de conglomerados.

En la figura 2.13 se observa que todas las variables y sus interacciones son significativas. El tiempo de batido y la velocidad son significativos a un nivel inferior, no así con la temperatura que es a un nivel alto.

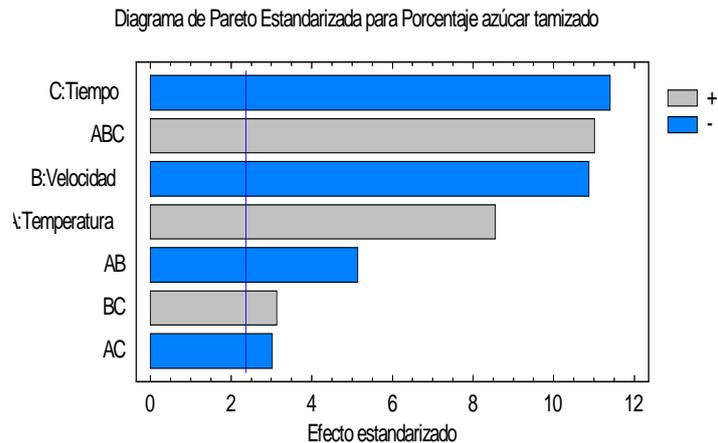


Figura 2.13 Diagrama de Pareto para el porcentaje de azúcar tamizado.

Por tanto, se obtiene que en el experimento 7, se logra mayor porcentaje de azúcar (66,295%) y menor en el experimento 4 (24,73%). La formación de cristales homogéneos en el proceso de batido depende de temperatura de punteo en su valor superior (126°C) y valores inferiores en velocidad (95 rpm) y tiempo de batido (5 minutos). Otros autores indican tiempo de batido de 10 minutos (**Collaguazo & Játiva, 2007**).

2.6. Secado y desintegración de conglomerados en el azúcar natural.

El secado evita el deterioro del producto y depende del tipo de producto a secar en cuanto a las dimensiones del producto, características de las partículas sólidas, uniformes y permitan la determinación de su superficie para determinar la velocidad de secado. Pero, puede ocurrir que las partículas no cumplan con tales condiciones y entonces la velocidad de secado se relaciona con la altura del lecho del material (**Maupoey et al, 2001**). Un secador de bandejas es útil para secado de edulcorantes sólidos, donde la velocidad de producción oscila por los 50 kg/h, pero por el trabajo requerido de carga y descarga su operación es costosa. El secado por circulación de aire a través de capas estacionarias de sólido es lento y los ciclos de secado son largos, sostiene (**McCabe et al, 2007**).

Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar. Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor (**Maupoey et al, 2001**).

La formación de agregados, conglomerados o terrones de azúcar constituye la principal razón por la cual, los paneleros no se arriesgan a producir azúcar natural, debido a su elevada formación en la producción artesanal de azúcar, que eleva su precio y no permite competir con el azúcar blanco sulfitada. Los conglomerados pueden ser aprovechados para otros usos o en su defecto desintegrarlos y envasarlos como azúcar natural (**Quezada, 2007b**).

La intensificación en esta etapa tiene como objetivo fundamental aprovechar el 100 % del producto obtenido en el proceso, mediante el secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural. La elección de la temperatura de secado, el espesor del material y la humedad óptima requerida que inciden en la calidad y en el rendimiento después de la molienda del azúcar natural, son variables básicas para cumplir los objetivos.

Para el estudio se utilizó un secador de bandejas, tamizador y molino tipo ciclón de la empresa Gardenia (**Anexo 11**). El proceso se realiza según la figura 2.14.

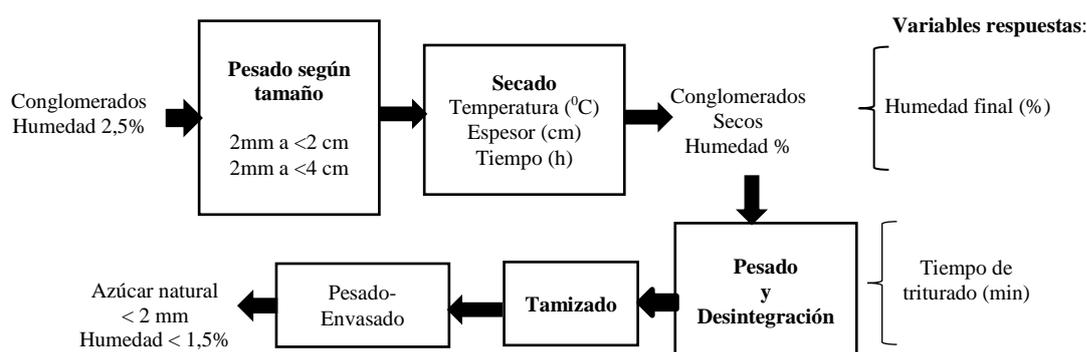


Figura 2.14. Diagrama de las etapas de secado y triturado de conglomerados.

Para el estudio de secado de los conglomerados se realizó un diseño de experimentos factorial 2^3 según los factores y niveles definidos en la tabla 2.16.

Los valores de temperatura de secado fueron manejados de acuerdo a niveles máximo de temperatura que soportan los azúcares como la sacarosa y que no causan deterioro de los atributos de calidad, esto es 60 a 70 °C (**Bello, 2000; Maupoey, 2001; Fito et al, 2001; García, 2003**). La temperatura de secado en azúcares crudos es de 55°C (**Núñez et al, 2011**). Los tiempos de secado se establecieron bajo criterio de expertos en la planta procesadora de panela granula GARDENIA de Atuntaqui, Ecuador y considerando lo indicado anteriormente por (**McCabe et al, 2007**).

Tabla 2.16. Factores, niveles y variables respuesta en el secado de conglomerados.

Factores	Unidades	Niveles		Variables Respuestas
		bajo	alto	
Temperatura: X_1	(°C)	50	60	Humedad final (%): Y_{hf} Tiempo triturado (min.): Y_t
Espesor conglomerado: X_2	(cm)	2	4	
Tiempo secado: X_3	(h)	1	2	

Los resultados obtenidos del diseño se muestran en la tabla 2.17, así como los modelos de ajuste de las variables respuesta en la tabla 2.18.

Tabla 2.17. Resultados del diseño de experimentos.

Exptos	X_1	X_2	X_3	Y_{hf}	Y_t
1	-1	-1	-1	1,095	2,1
2	1	-1	-1	0,815	2,05
3	-1	1	-1	1,505	3,65
4	1	1	-1	0,95	2,1
5	-1	-1	1	1	2,2
6	1	-1	1	0,67	1,995
7	-1	1	1	1,155	1,94
8	1	1	1	0,74	2,3

De las variables estudiadas, la de mayor peso como criterio de calidad del producto final es la humedad final (Y_{hf}). Los mejores resultados obtenidos corresponden para los experimentos 1, 3, 4, 5 y 7, para los cuales el color, aroma y textura no fueron afectados. Los resultados están dentro de la norma para un 1,5-2% de humedad final (INEN, 2002b) y aceptados por el mercado en los rangos establecidos en 1-2% de humedad final (Fito et al, 2001; Calleja et al, 2002; INEN, 2002b; CORPOICA, 2001; Quezada, 2007b; Singh et al, 2013), obteniendo tamaños de la partícula de azúcar máximo 2 mm. No existe un tamaño estandarizado por lo que puede tomarse una granulometría menor a 3 mm (García, 2003; Singh et al, 2013).

Un azúcar crudo contiene 0,5 a 2 % de humedad y se reduce a valores de 0,2 a 0,5 % en el secado (Núñez et al, 2011), sin embargo, para estos por cientos, las características organolépticas del azúcar natural se ven afectadas.

Los experimentos 3 y 7 ofrecen mejores resultados ya que permiten aprovechar conglomerados de mayor espesor.

Las mejores condiciones del diseño corresponden al experimento 3, para un menor tiempo de secado, menor temperatura y mayor cantidad de conglomerados en cuanto a espesor.

Tabla 2.18. Modelos de ajuste de las variables respuestas.

Modelos	R ²
$Y_{hf}=0,99125-0,1975X_1+0,09625X_2-0,1X_3-0,045X_1X_2+0,01125X_1X_3-0,04X_2X_3+0,02375X_1X_2X_3$	99,58
$Y_t=2,29187-0,18062X_1+0,205625X_2-0,183125X_3-0,11687X_1X_2+0,21937X_1X_3-0,1943X_2X_3+0,25812X_1X_2X_3$	94,97

Los modelos matemáticos para las variables respuestas ajustan para coeficientes de correlación R² entre 94,97% y 99.58%.

En el caso de X₁ y X₃ se observa una mayor incidencia en sus niveles altos, por lo que debe lograrse una combinación objetiva de los valores de las variables, que permita mejorar el proceso. No obstante lo anterior, si se considera el alto efecto que tiene la variable X₂ (espesor del conglomerado) resulta importante fijar este valor al mayor valor posible industrialmente, donde se incremente X₁ y minimizando X₃, donde características de calidad sensorial y costos no sean afectados.

El espesor del conglomerado incide en la humedad final del producto. A niveles bajos de temperatura y espesor alto, la humedad es menor. Por otro parte, una elevada temperatura del aire de secado puede producir el deterioro de ciertos compuestos del producto (proteínas, vitaminas y otros), y la aparición de colores y/o aromas extraños **(Fito et al. 2001)**.

Para la humedad final, existe una influencia significativa de todas las variables respuestas y sus interacciones, siendo menores estas últimas **(Anexo 12)**. Para el tiempo de desintegración, tiene una influencia significativa el espesor, seguido de las variables temperatura de aire de secado y tiempo, por lo que debe lograrse una combinación objetiva de los valores de las variables que permita minimizar el parámetro respuesta de tiempo de desintegración del conglomerado.

El tiempo de molienda prolongado es perjudicial para llevar a cabo el proceso, debido a la elevación de temperatura del producto por fricción **(Hall & Salas, 1998)**. La presencia de humedad en el material incrementa el tiempo de molturación, y por ende la energía consumida, además de ocasionar problemas de atascos y evitar embotamiento en las paredes del molino **(Calleja et al, 2002)**.

La granulometría del azúcar natural obtenida como producto final se puede subcategorizar aún más, dependiendo de la malla estándar que se utilice, siendo este análisis solo una característica más del azúcar natural que se obtuvo en esta investigación. Si los cristales se comercializan como un producto acabado, la aceptación por los consumidores exige cristales individuales, resistentes, de tamaño uniforme que no formen conglomerados y que no se aglomeren en el envase (**McCabe et al, 1998**).

La uniformidad del tamaño del cristal es indispensable para evitar apelmazamientos en el empaque, para facilitar la descarga y para un comportamiento uniforme en su uso. Por tanto, se requiere llegar a compromisos entre las variables para definir las condiciones de operación, de aquí que la selección de los parámetros corresponda a menor temperatura de secado (50°C), mayor cantidad de conglomerados en cuanto a espesor (4 mm) y menor tiempo de secado (1 h). Para estas condiciones, la cantidad de agua evaporada es de 43,5g, con una humedad del conglomerado de 1,5% y un tiempo de desintegración de 3,65 min.

2.7 Incorporación del color como parámetro de control de la calidad de los edulcorantes en la industria panelera

Los factores de calidad de un alimento pueden dividirse en tres grandes áreas: color, sabor y textura. Cada uno puede tratarse de modo objetivo, pero si el color es inaceptable, imposible valorar otros (**Campos et al, 1997**). El color natural de los alimentos se trata de un parámetro sensorial que más influye en la aceptabilidad, pero en el proceso, el mismo no perdura. Las causas de los colores en los alimentos pueden ser por las sustancias propias de forma natural, mediante reacciones químicas y enzimáticas que sintetizan nuevos compuestos, responsables de la aparición de más colores en el alimento, por ejemplo la Reacción de Maillard (**Contreras, 2006; Ronda, 2010**), o por la presencia de colorantes añadidos como aditivos.

El color puede determinarse por métodos objetivos como el modelo cromático CIE Lab, establecido por la Commission Internationale de d'Éclairage (CIE), donde $L^*a^*b^*$, valores que se representan en el espacio de manera tridimensional (**Cabrera et al, 2005; HunterLab, 2007**). El uso de colorímetro y espectrofotómetros, cámaras digitales y software con editor de imágenes, guías de color Pantone® especificadas y normadas son utilizadas en el estudio del color (**Padrón, 2009**). Es una respuesta

mental al estímulo que una radiación luminosa visible produce en la retina (**Delmoro et al, 2010**).

El color y apariencia, son características que deben ser valoradas para la miel hidrolizada, panela y azúcar natural. El color es un factor predominante en la calidad de la panela y en la India es usado como criterio de clasificación de este producto (**Guerra & Mujica, 2009**). La panela y azúcar natural están normalizados (**INEN, 2002 a; b**), pero el color de la miel hidrolizada, no.

Al utilizar sustancias naturales mucilaginosas mejora notablemente el color del jugo y productos como miel hidrolizada, panela y azúcar natural. Un criterio de calidad erróneo es el color blanquecino de la panela, que se logra con la incorporación de aditivos no permitidos como el hidrosulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) conocido como sulfoclarol, que es una sal binaria, tóxica y riesgosa para la salud (**Quezada, 2007b**).

El uso de abanicos colorimétricos se está generalizando y particularizando para cada producto y alimento, de ahí la importancia en el control del color.

Los pigmentos del producto, efectos del proceso, reacciones, otros, son causantes del color. Para el caso de la investigación se considera medir el color utilizando el método CIE-Lab, por tratarse de productos semisólidos y sólidos, donde el color primera impresión que causa estos edulcorantes.

Para valorar el color en los productos se utilizaron muestras de panela y azúcar natural de diferentes tonos de colores obtenidas en varios mercados de las provincias del Ecuador continental y agrupadas por el color. Se utilizaron: 37 de panela, 25 de azúcar natural y 11 de miel.

Para la miel hidrolizada, al no ser un producto tradicional en las paneleras, se elaboraron cinco muestras con jugos clarificados con mucilagos. Cuatro muestras con jugos clarificados en factorías, donde es común el uso de químicos (hidrosulfito de sodio), para su posterior concentración hasta punto de miel y dos muestras de miel obtenidas en el mercado local, eventualmente producidas de forma artesanal. Para la determinación de azufre como sulfato, se llevan las muestras a cenizas, se trata con dilución en ácido clorhídrico y se mide con el ESPECTROFOTÓMETRO NOVA 60.

La valoración del color, se trabaja con un equipo digital Colours Group, Capsure Palette X-rite de la compañía PANTONE LCC, con software incorporado. La lectura se basa en el modelo cromático CIE-Lab, que se representa tridimensionalmente en las coordenadas $L^*a^*b^*$, de valores positivos los colores blanco, rojo y amarillo. El

equipo capta el color del producto, compara con la gama de colores incorporada y define el nombre del color (**Anexo 13**).

Se observa que todos los colores de los productos se ubican tridimensionalmente en el cuadrante donde la coloración está entre el amarillo, rojo y marrón y que cada muestra tendrá en ese cuadrante el color según la ubicación del puntero, cuyo valor real dependerá de las dimensiones de $L^*a^*b^*$, que registre el equipo.

Miel hidrolizada.

Los resultados de azufre, color y las dimensiones de $L^*a^*b^*$, se muestran en el (**Anexo 13.1**). Las mieles hidrolizadas de las muestras 1, 2, 3, 4 y 5, fueron obtenidas de los jugos tratados con mucílago de las planta de Yausabara y Yausa. Las mismas reportan colores de aspecto claro y brillante, adquiriendo un color rojizo, debido al efecto del ácido incorporado en el proceso, destacando que las tres primeras son valoradas dentro de envase de vidrio y la 4 y 5, evaluadas sin envase. Estas muestras presentan características de buena calidad en cuanto al olor, sabor y especialmente color.

Las muestras de color amarillo verdoso en todos sus tonos, contienen azufre (SO_4^-) y la relación color-azufre se evidencia en muestras que proporcionan valores negativos en la dimensión de la coordenada a^* . El color marrón se debe a descuidos en el control de variables en el proceso, como sucede en la mayoría de las factorías, que operan en el país.

Panela

La diversidad de colores de la panela ecuatoriana se debe fundamentalmente a que en las etapas de fabricación del producto, se operan sin criterios de calidad (**Anexo 13.2**). El color amarillo claro, amarillo o marrón con tonos verdosos y oliva, se debe a la cantidad de hidrosulfito de sodio incorporado al producto en la etapa de clarificación, que se evidencian por valores bajos positivos y negativos especialmente, en la coordenada a^* obtenida tridimensionalmente.

Las panelas de color anaranjado con sus tonos, que no contienen azufre, se deben a estas reacciones o por los procesos de purificación o clarificación natural, según la especie vegetal.

La presencia azufre de cantidades bajas se debe a que el proceso fue bueno, pero no se realiza una limpieza de equipos donde en actividades anteriores se haya trabajado con hidrosulfito de sodio. El color marrón en diversos tonos en las panelas es indicativo de

concentraciones elevadas a las que se ha llevado la miel en el proceso, sean tratados los jugos con sustancias químicas o no y del tiempo de batido. Las muestras de color amarillo profundo oscuro y anaranjado en diversos tonos revelan que se ha producido bajo condiciones de clarificación natural y de un control adecuado de parámetros del proceso y que tienen aceptación por la calidad del producto.

Azúcar natural.

En el (Anexo 13.3) se muestran los resultados del color y de azufre para el azúcar natural con los valores según las dimensiones de las coordenadas tridimensional de CIEL*a*b*.

Las muestras de azúcar con tonalidades de colores de mayor aceptación corresponden desde la A1 a la A10, donde no existe azufre en la muestra. Sin embargo, las muestras A1, A2 y A4 contienen cantidades menores de sulfatos causados posiblemente a que los equipos no tuvieron una adecuada limpieza provocando que se quedaran residuos de azufre de procesos anteriores, consecuentemente los tonos son característicos de un azúcar natural. Muestras de azúcar con contenidos altos de sulfato se evidencian para coloraciones amarillas con tonos pálido, brillante, vivo, verdoso, oliva y marrón con tono oliva (muestras de la A11 a la A23).

Al interpretar la información de las gráficas tridimensional en 3D se puede observar en la mayoría de las muestras, que la presencia de azufre en los tres productos se corresponden cuando los valores en la coordenada a* son muy bajos o especialmente negativos.

La gama de colores del abanico colorimétrico pertenecen a la miel hidrolizada (producto nuevo), panela y azúcar natural y corresponden a todos los colores encontrados en estos productos, tal como se muestra en la figura 2.15.

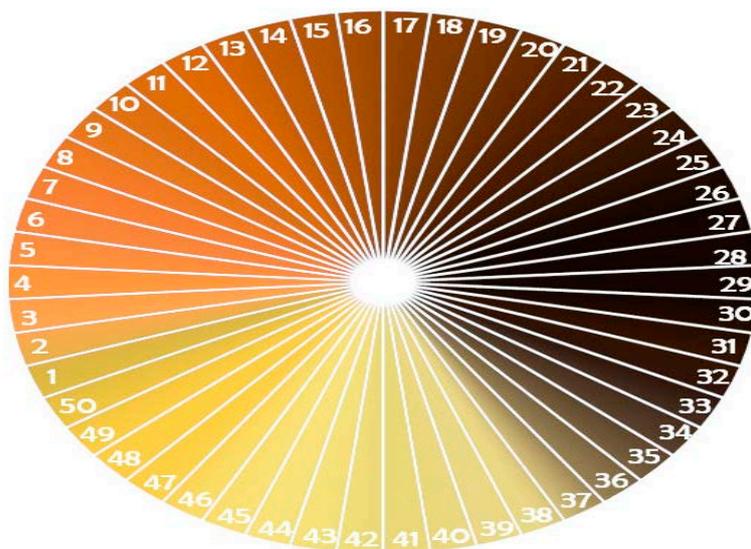


Figura 2.15. Abanico colorimétrico para la determinación del color.

La presencia de azufre en miel hidrolizada, panela y azúcar natural se evidencia en el color amarillo claros o marrón con tonos verdosos, oliva, que corresponden al abanico colorimétrico desde los números 31 al 50 incluido el 1 y 2. Colores desde 3 a 24, corresponden a productos clarificados sin la presencia de sulfoclarol y a partir de éste hasta el 30, son productos sin clarificación alguna o no se controla variables en el proceso.

El color marrón verdoso oscuro a claro (31 a 37) es indicativo que existe clarificación con sustancias químicas azufradas o se ha incorporado un exceso de hidróxido de calcio, conocido como lechada de cal, donde el color oscuro depende de la mayor cantidad de la cal incorporado. Organolépticamente los productos que no contienen azufre debe ser de color café claro a pardo oscuro, para la panela. Para el azúcar natural café claro a pardo claro y para la miel hidrolizada de color amarillo ámbar al hacerla chorrear y color vino, en frasco (Quezada, 2007b).

Conclusiones parciales

1. El diagnóstico de la industria panelera refleja problemas de calidad al no medir parámetros y variables fundamentales de las etapas del proceso. El empleo de sustancias químicas en la clarificación, empaques y embalajes inadecuados, afectan la calidad e inocuidad del producto.
2. La valoración ambiental mediante ACV, para la capacidad existente de 20 toneladas/día, muestra que la etapa industrial es la de mayor contribución en todas las categorías de impacto, siendo más representativo este impacto al cambio climático, el uso de la tierra y los combustibles fósiles

3. Las plantas mucilaginosas Yausabara, Yausa, Cadillo y Falso Joaquín son potencialmente útiles para la clarificación de jugos de caña, alcanzando valores de turbidez más bajos, dentro de las 14 especies estudiadas, resaltando la Yausabara con jugos claros y brillantes, características importantes para la calidad del producto final.
4. La temperatura final de concentración de los diferentes productos en función de la altitud de ubicación de la fábrica, es una medida más fácil, rápida y económica de control que la concentración, para del panelero.
5. En el estudio del proceso de batido mecánico, la formación de cristales homogéneos, depende de la temperatura de punteo en su valor superior y de la velocidad y tiempo de batido en sus valores inferiores, siendo estos de 126°C, 95 rpm y 5 minutos respectivamente, para los rangos seleccionados en este estudio.
6. Los mayores tamaños de conglomerados y menores tiempos de secado, en el estudio del secado y desintegración de los conglomerados del azúcar natural, permiten aprovechar el 100 % del producto obtenido en el proceso y que cumpla con las normas de humedad de 1-2% y sin afectación del color, el aroma y la textura.
7. El abanico colorimétrico para la agroindustria panelera (ACAP), constituye una herramienta útil para el sector panelero, ya que permite interpretar a través del color la calidad del producto en cuanto a la presencia o no de sustancias químicas prohibidas, a partir del método basado en la escala de colores CIE-Lab utilizando el PantonePalette X-rite.
8. La intensificación de la producción en las etapas del proceso, es factible y progresiva en la planta, con fines de incrementar la eficiencia de sus operaciones.

**CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA
DE LA PROPUESTA DE RECONVERSIÓN**

CAPÍTULO 3. RECONVERSIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA - AMBIENTAL DE LA AGROINDUSTRIA PANELERA.

3.1 Necesidades de reconversión de la agroindustria panelera.

En la actualidad, la reconversión tecnológica que se viene llevando a cabo, exige cada día, de variabilidad, calidad estable e inocuidad de los productos, haciendo que procesos con sistemas tradicionales cambien por otros con criterios más eficientes. Para ello, se requieren implantar políticas de mejoras continuas, aprovechando las alianzas como estrategia de sostenibilidad e integración (Morales, 2012; Buchner, 2007; Rodríguez, 2002).

Para reconvertir un proceso no es necesario cambiar de equipo, también se puede montar un sistema híbrido adicionando un equipo al proceso; estos sistemas promueven aumentos de la productividad y son internacionalmente competitivos (Pérez, 2011; Schwartz, 1994; Petrides, 2010).

El sector agroindustrial panelero ecuatoriano ha carecido de alternativas de diversificación de nuevos productos, debido fundamentalmente al ineficiente sistema de producción de estas pequeñas y medianas empresas (FLACSO, 2010)

Considerando los estudios de intensificación anteriores, se procede al análisis de la implementación con la incorporación de nuevos productos a partir de la reconversión de sus instalaciones, aprovechando los equipos y capacidades instaladas y otros nuevos.

Si bien los estudios de intensificación y reconversión pueden ser extendidos a todas las industrias paneleras, se analiza como caso de estudio la panelera Nápoles en el Ecuador. Para ello, se propone en la figura 3.1 un diagrama resumido de las líneas de producción para la reconversión.

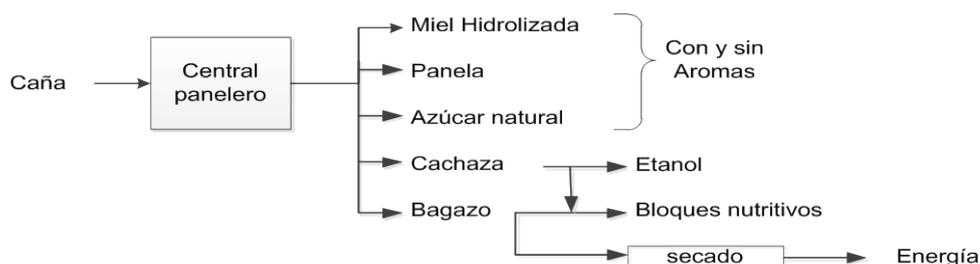


Figura 3.1 Propuesta de líneas de producción para la reconversión tecnológica.

En la figura 3.2 se describe de manera detallada la propuesta resaltando las nuevas producciones como son, la obtención de miel hidrolizada, la etapa de extracción aceites esenciales para la aromatización de los productos, aprovechamiento de la cachaza para alcohol, la mezcla de cachaza-bagazo para alimento animal y secado de bagazo; las mismas serán evaluadas técnica y económicamente en los epígrafes siguientes. En el **Anexo 14** se muestra el diagrama tecnológico de los equipos de la planta actual y con la propuesta de reconversión.

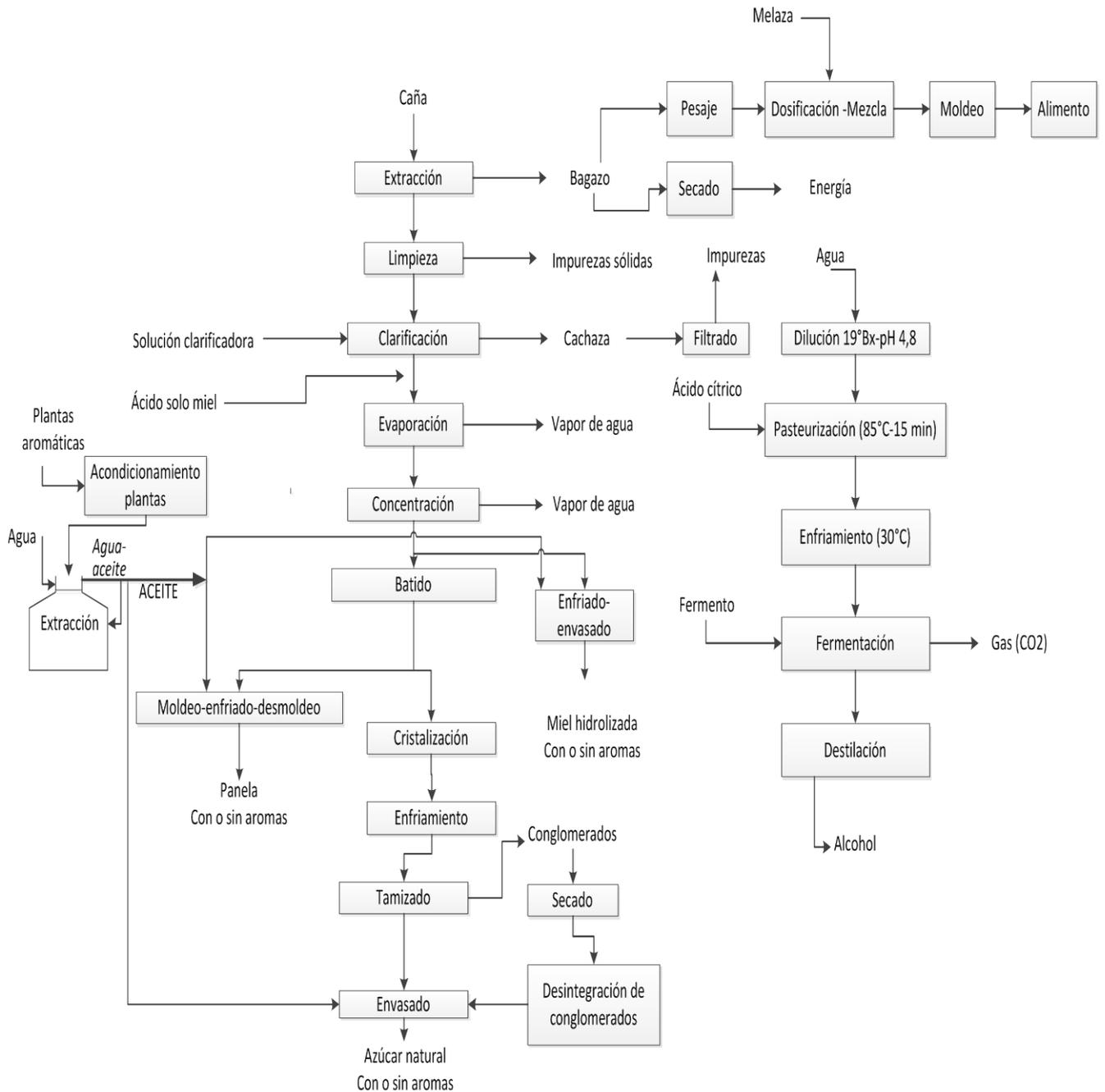


Figura 3.2 Esquema general de las líneas de producción para la industria panelera reconvertida.

La selección de las líneas de producción y la combinación entre ellas dependerán de las disponibilidades de materias primas, de la capacidad del equipamiento, de las posibilidades de inversión y producción de cada industria y del interés de los productores de insertar los productos en el mercado.

3.2 Evaluación técnica de las alternativas tecnológicas para la reconversión.

Para comenzar con la evaluación técnica se consideran los siguientes aspectos:

En la zona agrícola, existen 65 pequeños productores de caña para un promedio de 2,5 Ha/productor, a una producción media de 75 toneladas de caña por hectárea, para una disponibilidad de 12187,5 toneladas de caña/año.

La infraestructura de la planta permite trabajar con 40 t/d, que corresponde a 100% de su capacidad instalada. Actualmente, trabaja a un 50% de su capacidad, y de acuerdo a la disponibilidad de materia prima, se propone incrementar la producción a 30 t/d, lo que representa un 75 % de la capacidad.

• Determinación de los balances de masa para los productos finales.

Como base de cálculo se tiene en cuenta:

- Capacidad de extracción: 65%
- Sólidos solubles del jugo clarificado: 20 °Bx.
- La cachaza obtenida en una industria panelera, se encuentra entre el 3,5 al 4 % de la masa de la caña (Velásquez et al, 2004; Rodríguez et al, 2004; Quezada, 2007b). Para el estudio se considera un valor de 3,5 %.
- Sólidos solubles de la miel hidrolizada: 76 °Bx
- Sólidos solubles de la panela: 90 °Bx
- Sólidos solubles del azúcar natural: 96 °Bx

Para la evaluación técnica económica, se consideran cuatro alternativas de producción con posibilidades a realizar según los productos finales, miel hidrolizada, panela y azúcar natural. Las alternativas difieren en los por cientos de producción destinados a cada producto final. En todas, se considera constante el aprovechamiento de los subproductos, cachaza y bagazo para la elaboración de bloques nutritivos o alimento animal, y además la línea de producción de aceites para aromatización.

La selección del por ciento de producción que se destina para cada producto, se toma de acuerdo a criterios de los productores y del mercado. Por supuesto, se realizarán cuantas variantes sean posibles, siempre y cuando respondan favorablemente en la rentabilidad y operatividad del proceso, tanto de caña como de jugo.

Alternativa 1.(A1) Miel hidrolizada (50%)-panela (50%)

Alternativa 2. Miel hidrolizada (50%)-azúcar natural (50%)

Alternativa 3. Panela (50%)-azúcar natural (50%)

Alternativa 4. Miel (30%)-panela (35%)-azúcar natural (35%)

En la tabla 3.1 se plantean los resultados de los balances de masa del proceso en función de las alternativas.

Tabla 3.1 Balances de masa para cada alternativa de producción.

Factores	Alternativas			
	1	2	3	4
Jugo (kg/d)	19500	19500	19500	19500
Jugo clarificado (kg/d)	18450	18450	18450	18450
Productos finales (kg/d)	4477,6	4349,5	3971,9	4236,9
Rendimiento (%)	14,92	14,49	13,24	14,12
Bagazo combustión (kg/d)	5834,65	6151,12	6241,55	6151
η_b (kgb/kgp)	1,35	1,39	1,52	1,43
Cachaza (kg/d)	1050	1050	1050	1050

η_b : Eficiencia del bagazo en kg bagazo/kg producto

El rendimiento de las alternativas se encuentran entre 13.24 y 14.92, valores superiores a calculado en la panelera actual y muy alentadores según se reportan en Colombia e India (Velásquez et al, 2005; Osorio, 2007; Kiran et al, 2013). Nótese que los rendimientos son mejores para las alternativas donde aparece la miel hidrolizada en el proceso.

• **Determinación de los balances de energía.**

En el cálculo de la eficiencia energética de la cámara de combustión instalada, se pudo evidenciar, que los resultados obtenidos se encuentran en el rango de hornillas mejoradas para un 39,7% de eficiencia. Con el objetivo de incrementar la eficiencia energética, en aras de un mejor aprovechamiento del bagazo utilizado para las diferentes producciones, se analiza la propuesta de secar el bagazo a un 30% de humedad.

Autores como, (Porta, 1976; Pons, 1987; Kiran et al, 2013; Mendieta et al, 2011) plantean que principalmente, bagazo con menor cantidad de humedad y mayor cantidad de fibra, incrementan el valor calórico del bagazo. Por lo tanto, el valor calórico del bagazo calculado utilizado es de 2818,84 kcal/kg, valor comparado al obtenido por (Garcés & Martínez 2008).

Base de cálculo:

- ✓ Cantidad de bagazo 35 % respecto a la caña.
- ✓ Humedad del bagazo húmedo 55 %
- ✓ Humedad del bagazo para la combustión 30 %

Tabla 3.2 Datos promedio de temperatura y concentración utilizados.

Etapa y producto	Temperatura (°C)		Concentración (°Bx)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Clarificación	22	93	20	23
Evaporación	93	103	23	70
Miel hidrolizada	103	106	70	76
Panela	103	120	70	90
Azúcar natural	103	125	70	96

En la tabla 3.3 se muestran los resultados del balance de energía para la propuesta de reconversión.

Tabla 3.3 Balance de energía para el proceso de producción.

Producto	Unidad	Qcl	Qc	Qn	Qd	(η_e)
Q miel	KJ	$0,28 \times 10^6$	$1,68 \times 10^6$	$1,96 \times 10^6$	$3,93 \times 10^6$	50
Qpanela	KJ	$0,82 \times 10^6$	$1,79 \times 10^6$	$2,07 \times 10^6$	$4,14 \times 10^6$	50
Qazúcar	KJ	$0,82 \times 10^6$	$1,82 \times 10^6$	$2,09 \times 10^6$	$4,2 \times 10^6$	50

Qncl: Energía necesaria para clarificación; Qnc: Energía necesaria para concentración; Qn: Energía necesaria para proceso; Qd: energía disponible; η_e : Eficiencia energética.

Como se puede observar, se logra incrementar la eficiencia energética a un 50%, valor favorable al compararlo con trabajos publicados por, (García et al, 2010) que en sistemas cerrados alcanza un 51%, (Kiran et al, 2013) en hornillas paneleras que operan con cuatro tinas plantea rangos de 40 a 50%, para dos tinas del 45 a 55%, para una tina de 60 a 70 %.

La proporción de valor añadido amplía la capacidad y cadena de producción y sus ganancias. Para el desarrollo productivo incorporar y aprovechar materias primas aun no aprovechadas se convierte en una necesidad para fortalecer el sector agroindustrial de un sector o subsector.

Sin duda, es una estrategia válida para el sector agroindustrial panelero diversificar la producción e incorporar valor agregado a los productos y subproductos mediante nuevas alternativas de fabricación: para el caso la incorporación de aromas a los edulcorantes, el aprovechamiento de la cachaza y el bagazo para alcohol y alimento animal.

3.2.1 Extracción de aceites esenciales para aromatización de los edulcorantes.

Los aceites esenciales son mezclas complejas volátiles de sustancias que proporcionan sabor y olor a innumerables alimentos. Mediante la destilación, es posible separar del material botánico estas sustancias dando lugar al nacimiento de los aceites esenciales como producto comercial (León, 2009; Cerutti & Neumayer, 2004).

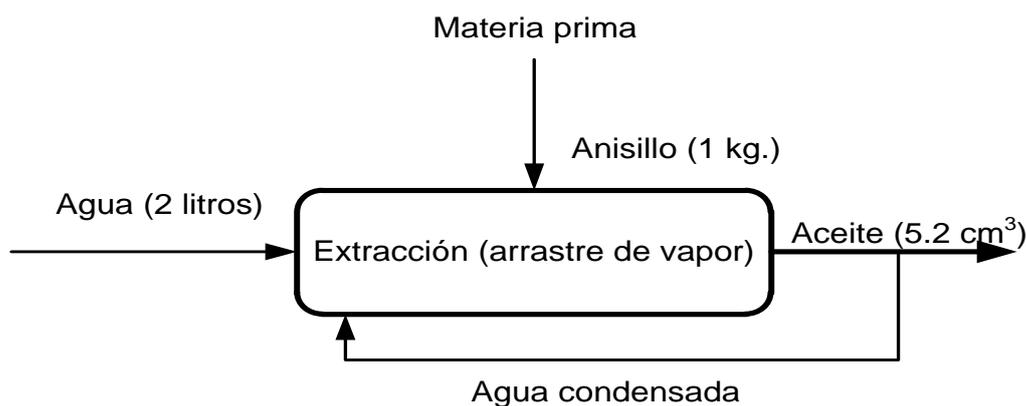


Figura 3.3 Esquema de extracción de aceites esenciales.

La composición química de los aceites esenciales difiere según el origen, cultivo, tiempo de recolección y método de extracción (Meza et al, 2007; Sánchez et al, 2009). El uso es múltiple y se destacan en alimentos y bebidas como: saborizantes, preservantes, confitería, bebidas (COLCIENCIAS; CENIVAN; TRIZ XXI, 2008)

La extracción de aceites esenciales se realiza por varios métodos, siendo la destilación y extracción de arrastre de vapor los más utilizados para plantas herbáceas. Los rendimientos de extracción se encuentran entre el 0,5 a 6 % (Stashenko, 2009; Escalante et al, 2012).

El aceite esencial de naranja tiene compuestos de alto peso molecular como el linalol, decanal y octanal, responsables del olor y sabor característico de este producto, donde los rendimientos por el método de arrastre de vapor son de 10 ml/kg (1%) de cáscara fresca, en 4,5 horas de extracción (Cerón & Cardona, 2011). Para hojas de manzanilla, se obtienen rendimientos de 0,34% (González & Colectivo, 2004). Para albahaca, rendimientos promedio de 0,92 % (Rodríguez et al, 2011; Rodríguez et al, 2012).

(Pozo & Maldonado, 2006), realizan un sistema de aromatización incorporando aromatizante en sólido y en spray en solución al 3 y 6 % en peso. Mientras que, (Mina & Vásquez, 2003), evalúan la aromatización en panelas utilizando 100 y 200 gramos de planta aromática fresca en el proceso de concentración.

(Maldonado & Rubio, 2005), elaboran panela instantánea aromatizando con polvo de canela en porcentajes de 2, 4 y 6 % del peso de la panela. De igual manera, recomiendan poner desde el 1, 2 y 3 % de almidón en el producto.

En panela en dosis de 0,5 g/kg de panela con aromatizantes de naranja, limón, canela y anís (Rojas, 1998). Cuatro segundos de aromatización por spray/10-12 kg de azúcar (Quezada, 2007a; b; c).

Con fines experimentales para la extracción de aceites esenciales y aromatización de los productos paneleros se realiza un estudio preliminar con tres tipos de plantas aromáticas. Para ello se utiliza el método de arrastre con vapor en un destilador acoplado a un condensador y separador, tal y como se representa en el **Anexo 15**.

La cantidad de agua utilizada para la extracción es de 2 litros y el tiempo de extracción es de 3,5 horas. Se realizan en una relación de 1,5 litros de agua para 0,5 kg de material, previamente deshidratado a 50°C (**Rodríguez et al, 2012**). Se calcula según la ecuación 3.1; se considera un valor de E (coeficiente de eficiencia por arrastre de vapor) entre 0,5 a 0,7; presiones de vapor en (mmHg) a 95°C, donde ocurre el proceso de la esencia y agua, y masas molares del agua y componente principal en mayor porcentaje (**Bandoni, 2002**).

$$\frac{W_{agua}}{W_A} = \frac{P_{agua} * P_{M_{agua}}}{E * P_A * P_{M_{Ac}}} = 1,25 \quad (3.1)$$

Siendo W_{agua}/W_A , la relación en peso de la cantidad de vapor de agua necesaria para obtener una determinada cantidad de aceite esencial mediante arrastre con vapor. Como resulta difícil determinar el peso molecular de un aceite esencial, lo que se hace en la práctica es utilizar un promedio ponderado de los pesos moleculares de los componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial y una curva donde se relacione la tensión de vapor del aceite esencial a distintas temperaturas.

Resultados experimentales de aceite esencial obtenidos se muestran en la figura 3.4.

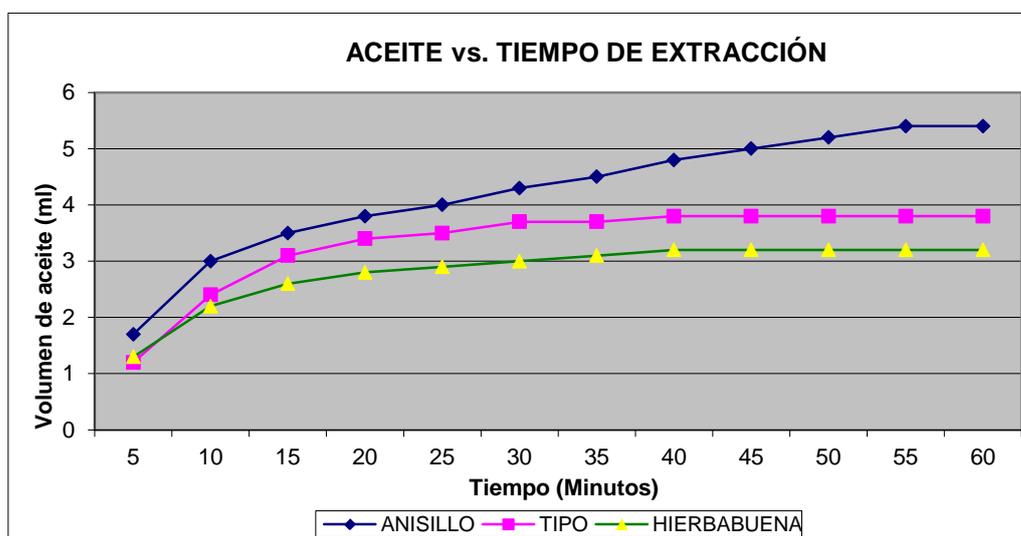


Figura 3.4 Volumen de aceite obtenido de las plantas. (**Quezada, 2007a**)

La mayor cantidad de aceite esencial se logra en la primera hora de extracción, alcanzando volúmenes superiores de 5 ml, en la planta de anisillo, seguido del tipo y finalmente de la hierbabuena. Los rendimientos y la caracterización de los aceites

esenciales se muestran en el (**Anexo 15.1 y 15.2**). La caracterización química se realizó mediante cromatografía de gases – masas.

Según los resultados, el anisillo está compuesto por 12 componentes, donde el 68,02 % es Anetol y 24,52 % de Estragol.

El tipo contiene 42 sustancias aromáticas. Los componentes que sobresalen por su mayor contenido son el Acetato de carvacrilo en un 18,95 %, seguido de Trans-cariofillene en un 10,05 %, de Germacreno D en 9,46 % y finalmente de Carvacrol en 7,60 %.

La hierbabuena, tiene: DL-carvona 36,53 %, Anetol 15,35 %, Germacreno D 8,81 % y de Limoneno 7,29 %, que son los componentes que prevalecen.

El aromatizante puede incorporarse directamente como planta fresca, en la etapa de punteo en miel, panela y azúcar. En forma sólida, al azúcar, en la etapa de mezclado y tamizado. En forma líquida, como aceite esencial, mediante atomización, utilizando un aplicador spray, que es más conveniente, ya que el líquido se esparce gracias a una pulverización de las partículas del aceite esencial, logrando mayor contacto en el producto (**Quezada, 2007a; b**).

3.2.2 Aprovechamiento de la cachaza y el bagazo.

La investigación, la innovación y la creación de tecnologías viables para la conversión y aprovechamiento de derivados y residuos agroindustriales, es una medida que contribuye significativamente a su modernización y competitividad.

- **Cachaza para la producción de alcohol.**

El alcohol etílico o etanol puede ser obtenido por síntesis química o por vía fermentativa a partir de la caña de azúcar (jugos o melazas, bagazo), maíz, remolacha, sorgo, residuos agrícolas, entre otras (**Blanco, 1982; Manual, 2002**).

Las mieles finales rinden aproximadamente el 2,5-3 % de la caña molida y se acerca al 25% de la sacarosa producida. Su composición difiere según el proceso y tecnología utilizada. Las mieles finales de caña son una mezcla de azúcares, no azúcares y agua y que difieren de la cachaza que son obtenidas en la superficie por efecto de flotación, cuando el producto ha entrado a proceso. La cachaza de la agroindustria panelera se estima que representa del 2,85 al 4% de la masa de la caña (**Rodríguez, 2004; Quezada, 2007b; García, 2010; Prada, 2002; Velásquez et al, 2004; Rodríguez, 2008**).

Para la obtención de alcohol a partir de cachaza, se debe ajustar la materia prima hasta límites de 16 a 18 brix, pasteurizar, enfriar y fermentar, previamente enriquecido con fosfato de amonio y urea o sulfato de amonio como nutrientes. Habitualmente se somete a degradación del sustrato con un contenido de azúcares entre 13 y 15% a una temperatura de

29-32°C y un pH de 4.2-4.5. El proceso de fermentación se lleva a cabo de 2 a 3 días y artesanalmente hasta 8 días. Una vez terminada la fermentación se destila y se lleva a rectificación. Tradicionalmente se puede llegar hasta un aguardiente crudo de 75° alcohólico (CONSEP, 2011).

En el proceso de fermentación, estudios realizados por (Campués & Tarupí, 2010) para obtener alcohol a partir de cachaza de 21°Bx., utilizó dos niveles de inóculo (*Saccharomyces cerevisiae*) de 0,15 y 0,2 g/L, obteniendo mostos alcohólicos de 2,5 a 3,5 % en alcohol.

Partiendo de estos criterios, se realizaron balances preliminares, utilizando 1,2 gramos de fermento/Litro de mosto, tal y como se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5. Esquema de obtención de alcohol a partir de cachaza.

Tabla 3.4. Grados alcohólicos y volumen de alcohol obtenido a partir de cachaza.

Tratamientos	Grados alcohólicos	Volumen/h de destilado de 70% v/v. (L)	Litros alcohol/Litro de mosto a procesar
1	2,78	0,48	0,032
2	3,16	0,5	0,0326
Estimado	5,0	0,65	0,043

En la tabla 3.4 se muestran los resultados, siendo los rendimientos bajos comparados con los obtenidos con mieles finales. Este valor se puede mejorar aumentando la cantidad de levadura a añadir; si se estima un grado alcohólico de 5°GL se obtiene un rendimiento un poco superior.

Realizando un análisis de costo del producto, según (CONSEP, 2011) se tiene que los precios de la cachaza son de 0,40 USD/galón y el precio del aguardiente fluctúa entre 0,7 a 1,0 USD/L de 75 grado alcohólico, por lo que resulta más viable comercializar la cachaza y descartar la alternativa de producir alcohol por los bajos rendimientos y precios.

Para estudios posteriores, se debe considerar la intensificación del proceso, con adición y evaluación de otros sustratos azucarados, criterios tecnológicos, de capacidad y económicos.

- **Cachaza-bagazo como alimento animal.**

La combinación de bagazo-melaza de caña de azúcar en alimentación de ganado es posible cuando escasean o no crecen los forrajes, preferentemente, en alimentación de ganado vacuno. (Carnevali et al, 2001; Chaves, 2008) han obtenido resultados positivos con el uso de bagazo melacificado, con la proporción de proteína, en proporciones de 30 % bagazo y 70% melaza.

Estudios en Australia, para ganado, utilizan 15% de bagazo y 35% de melaza (50% de la ración) logrando aumentos de peso con promedio de 1,04 kg/animal/día (Sierra, 2004). Mezclas de bagazo 30%, melaza 50% y proteína animal 20%, son elaborados para novillos (Clavo, 1974; Ochoa, 1973).

Considerando las mezclas y los resultados de estos autores, se propone la obtención de bloques nutritivos o alimento animal, utilizando bagazo húmedo (30%), cachaza (50%), urea (19%) y (1%) de sal. En la figura 3.6, se muestra el proceso simplificado a seguir.

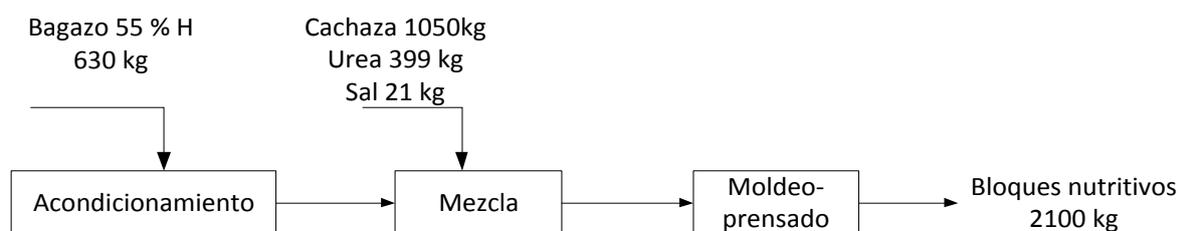


Figura 3.6. Balance de masa para la obtención de alimento animal.

Según el balance, se aprecia que no existen pérdidas, lo que permite al productor aprovechar un importante recurso que permitirá dinamizar la producción y economía del panelero.

3.2.3 Secado del bagazo.

El bagazo de industria panelera tiene una consistencia esponjosa y de baja densidad, lo que facilita su secado. Lo anterior implica aplicar un sistema de secado acorde al proceso productivo, considerando aspectos tecnológicos y económicos, ajustando al tiempo de recuperación del capital.

La agroindustria panelera está establecida en climas cálidos de \pm 11 horas luz, actualmente, el secado de bagazo se realiza a cielo abierto o bajo cubierta, donde el costo es bajo, pero requiere de un tiempo prolongado para alcanzar la humedad final de 30% (Rojas, 1998), además de que su almacenamiento genera problemas de contaminación ambiental.

La literatura plantea para el secado de bagazo los secaderos rotatorios, los fluidizados con alto consumo energético y los neumáticos, siendo este último el más atractivo por su eficiencia para bagazo de la industria azucarera (**Quintana et al, 2006; Perry, 1978**)

El secado de bagazo presenta múltiples ventajas y varios inconvenientes, entre las ventajas se encuentran (**Calderón, 2008**):

- ✓ Incremento del Valor Calorífico Superior (VCS) e Inferior o neto (VCN) del bagazo.
- ✓ Disminución del exceso de aire requerido para la combustión. El exceso de aire requerido para la combustión del bagazo húmedo es del 50 al 60 %, mientras que para el bagazo seco es del 20 %.
- ✓ Incremento en la temperatura de los hornos entre un 20 % a un 30 %.
- ✓ Aumento de la eficiencia de combustión. Reducción de las pérdidas por combustión incompleta debido a que el bagazo seco se quema casi sin dejar residuos, y a la recuperación del 50 % del hollín producido en los ciclones del secador.
- ✓ Disminución de la contaminación como consecuencia del menor volumen de gases y la reducción de hollín.

Las desventajas se encuentran en los altos costos iniciales de inversión, grandes requerimientos de espacio, elevados consumos de energía por kilogramo de bagazo seco y generalmente, la necesidad de sistemas auxiliares para el transporte del bagazo. En este caso la energía a emplear en el secado serían los gases de combustión del propio bagazo. Con estas consideraciones se plantea valorar la reconversión de la industria panelera bajo dos variantes: Secado de bagazo natural y mediante secador neumático. En este caso se selecciona un secadero neumático en el que la energía a emplear en el secado serían los gases de combustión del propio bagazo.

- **Descripción del Secador neumático.**

El secador consta básicamente de un dispositivo para dispersar el sólido húmedo entre los gases calientes, un conducto por el cual dichos gases arrastran las partículas dispersas, y un sistema colector para separar el producto seco de la corriente (**Anexo 16**).

- **Balances en el secadero.**

Se propone secar en la fábrica 10500 kg/día de bagazo con una humedad de 55% y se propone que la humedad final sea de 30%. La fábrica trabaja en jornadas de 8 horas/día.

Se utilizará el gas producto de la combustión que sale de la chimenea, valor que oscila entre 350 a 450 °C. Para los cálculos, se consideran los parámetros indicados por (**Perry, 1988**) para este tipo de secaderos, los cuales indican temperaturas de

funcionamiento en rangos desde 150 a 700°C. En función de esto se selecciona como temperatura de entrada al secadero, 400°C y la de salida del secador en 107°C.

Las pérdidas caloríficas se consideran del 15% del calor en el gas entrante. La composición del gas de combustión se indica en el **Anexo 16.1**.



Se sabe que: $X = \frac{x}{100-x}$

Entonces: $X_1 = 1,222 \frac{kgagua}{kgbagazo}$ y $X_2 = 0,429 \frac{kgagua}{kgbagazo}$

Con esa composición se determina el peso molecular del gas. Luego para 1 mol de gas:

$$G_{seco} = 1 - 0,107 = 0,893 mol$$

Peso molecular medio del gas seco = 28,3. Cercano al del aire.

$$Y_2 = \frac{0,107 \cdot 18}{0,893 \cdot 28,298} = 0,076 \frac{kgagua}{kgbagazo}$$

Asumiendo que la relación psicrométrica del gas es la misma que la del aire, dado la masa molar de estos gases y su temperatura de bulbo húmedo, como 68°C., la cual se toma como temperatura de salida del aire para la realización del diseño.

Datos

Bagazo:

Entrada:	$L_1 = 1312,5 \text{ kg/h}$ $T_{L1} = 30^\circ\text{C}$ $X_1 = 55$
Salida:	$T_{L2} = 68^\circ\text{C}$ $X_2 = 30$

Gases:

Entrada:	$T_{G1} = 400^\circ\text{C}$
Salida:	$T_{G2} = 107^\circ\text{C}$ Humedad = $0,1686 \text{ kgagua/kggas seco}$

Luego:

$$H'_{G1} = (1,07236 + 1,884Y_1)T_{G1} + 2502,3Y_1 = 570,62 \text{ kJ/kgaireseco}$$

$$H'_{G2} = (1,07236 + 1,884Y_2)T_{G2} + 2502,3Y_2 = 676,39 \text{ kJ/kgaireseco}$$

$$H'_{L1} = (C_{p_s} + C_{A_L}X_1)T_{L1} = 206,28 \text{ kJ/kgaireseco}$$

$$H'_{L_2} = (C_{p_s} + C_{A_L} X_2) T_{L_2} = 241,60 \text{ kJ/kg aire seco}$$

$$L_s = L_1(1 - x_1) = 590,63 \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

Balance de masa:

$$L_s(X_1 - X_2) = G_s(Y_1 - Y_2)$$

$$G_s = 4621,68 \text{ kg/h}$$

Del balance de masa de los gases de combustión en condiciones actuales y tomando las reacciones básicas que se producen:

Reacción 1: $C + O_2 = CO_2$; Reacción 2: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$. Se estima que el aire tiene 80% de N_2 y 20% de O_2 por cada mol aire.

Se establece que, la masa de los gases que genera combustión es = 9030 kg/h, valor suficiente al requerido para el secado del bagazo. Estos gases serán alimentados desde la parte inferior de la chimenea que tecnológicamente es viable, mediante acople y tuberías perfectamente aislados, que garantizan la temperatura requerida.

(Paz et al, 2001) indica que en secaderos neumáticos para el bagazo en calderas de centrales azucareros, la relación Gases/Bagazo oscila entre 5,06-5,87 kg/kg con y sin secadero. Esta relación ha disminuido en calderas más eficientes con secaderos hasta 2,35 kg/kg (D'Angelo et al, 2006). Caso estudio: 4,46 kg de gases/kg de bagazo.

- **Dimensionamiento del secadero neumático.**

No existe ninguna información publicada sobre un diseño completo de este tipo de secado para un caso en particular. Para la realización de este secadero se seguirá el procedimiento propuesto por autores como Perry y Quintana.

Se conoce que las partículas del bagazo pueden ser de diferentes tamaños y oscilan entre 1 y 25 mm. Por lo general, para este tipo de secadero se tiene de 2 a 3 unidades de transferencia (Perry, 1988; Quintana et al, 2006).

Para el caso de estudio se determinó tamización que el diámetro promedio de la partícula es de 11 mm y se seleccionó 2 unidades de transferencia. A partir de estos datos se calcula el área de una esfera mediante la ecuación: $A = \pi D_p^2$.

Si se conoce el tamaño de las partículas de material a secar, se calcula el flujo de transmisión de calor a las partículas individuales en los gases transportadores por medio de la siguiente ecuación, considerando el coeficiente de conductividad de la partícula que del aire que rodea la partícula es:

$K_f = 99,50 \frac{kcal}{hm^2C/m}$; y la ecuación para calcular el coeficiente de transmisión de calor

(h) en $kcal/hm^2C$ es: $h = \frac{2K_f}{D_p}$; D_p = diámetro de la partícula (m).

El flujo de transmisión del calor se determina por la ecuación:

$$q = hA(\Delta t)_m$$

Siendo: A = área de la partícula (m^2) y $(\Delta t)_m$ = diferencia media de temperatura entre las condiciones de entrada y las de salida.

$$(\Delta t)_m = \frac{(T_{G_2} - T_{L_2}) - (T_{G_1} - T_{L_1})}{\ln \frac{(T_{G_2} - T_{L_2})}{(T_{G_1} - T_{L_1})}}$$

La cantidad total de calor que hay que transmitir dada la ecuación:

$$Q = \rho_s V \lambda (X_1 - X_2)$$

En la cual: Q = carga de calor (kcal); ρ_s = densidad de la partícula (kg/m^3); V = volumen de la partícula (m^3); X_1, X_2 = contenido inicial y final de humedad (kgagua/kgbagazo); λ = calor latente de evaporación (kcal/kg).

Para partículas esféricas:

$$V = \frac{\pi D_p^3}{6}$$

Entonces el tiempo necesario para el secado se determina por la ecuación:

$$\theta = \frac{\rho_s \pi D_p^3 \lambda (W_1 - W_2)}{6hA(\Delta t)_m}$$

En la cual:

θ = tiempo necesario para el secado [h]

La longitud del conducto transportador la da entonces la ecuación:

$$L = \theta v$$

L = Longitud del conducto (m); v = velocidad del gas (m/h)

Las velocidades del gas en el conducto transportador deben ser suficientemente elevadas para arrastrar las partículas mayores en el sistema.

En la práctica, la velocidad debe ser aproximadamente 100% mayor que la caída libre de la partícula más grande y varía entre 15 y 60 m/s. Una buena velocidad media para los cálculos aproximados de proyectos es 23 m/s (**Perry, 1988**).

Según la bibliografía consultada se conoce que la densidad del aire a 400°C es de 0,525 kg/m^3 , para un flujo de gas de 2,4453 m^3/s .

Mediante una hoja de cálculo de Excel se obtienen los valores que se indican en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resultados del diseño del secador neumático.

Parámetros y Dimensiones	
h (kcal/h m ² °C)	18090,31
Dp (m)	0,011
A (m ²)	3,8.10 ⁻⁴
q (kcal/h)	1011,155
Q (kcal)	0,1222
V (m ³)	6,97.10 ⁻⁷
Θ (s)	0,45
L (m)	8,30
D (m)	0,37

Haciendo de la ecuación de continuidad, se obtiene que para este flujo y para una velocidad de los gases de 23 m/s, el área del conducto es de 0,1063 m² y el diámetro indicado para el secadero es de 0,368 m.

- **Estimación del costo del equipamiento**

Para la estimación del costo total del equipo y sus sistemas auxiliares para el funcionamiento del mismo, se considera la ecuación indicada por **(Perry, 1988; Towler & Sinnott, 2008)**:

$$C_e = a + bS^n$$

Siendo: C_e = Costo del equipamiento; a y b = constantes; S = Tamaño del parámetro (área superficie del cilindro πDL); n = exponente para ese tipo de equipamiento

$$a = -7400; \quad b = 4350; \quad n = 0,9$$

Para el área del secadero (S) = 11 m², el costo total actualizado del equipo es de 62430,63 USD.

3.3. Análisis del ciclo de vida con la intensificación y reconversión.

Según las propuestas de intensificación y reconversión planteadas en el trabajo, se hace necesario evaluar el impacto ambiental que provocan las mismas en el proceso de producción bajo estudio.

✓ Definición del objetivo, unidad funcional y alcance del ACV.

El objetivo es diversificar la producción y para esto es necesario el análisis de la producción de miel hidrolizada, panela y azúcar natural. En este caso se considera, la propuesta de incrementar a 30 t caña/día a utilizar como unidad funcional, con un 65% de extracción.

✓ Establecimiento de los límites del sistema.

Se consideran dentro de los límites del sistema la etapa industrial y agrícola; y como productos finales, la panela, la miel hidrolizada y el azúcar natural. Los subproductos cachaza y bagazo se nombran productos evitados, ya que se utilizarían como alimento animal sustituyendo a otros en el mercado. A continuación en la figura 3.7 se representa el esquema del proceso.

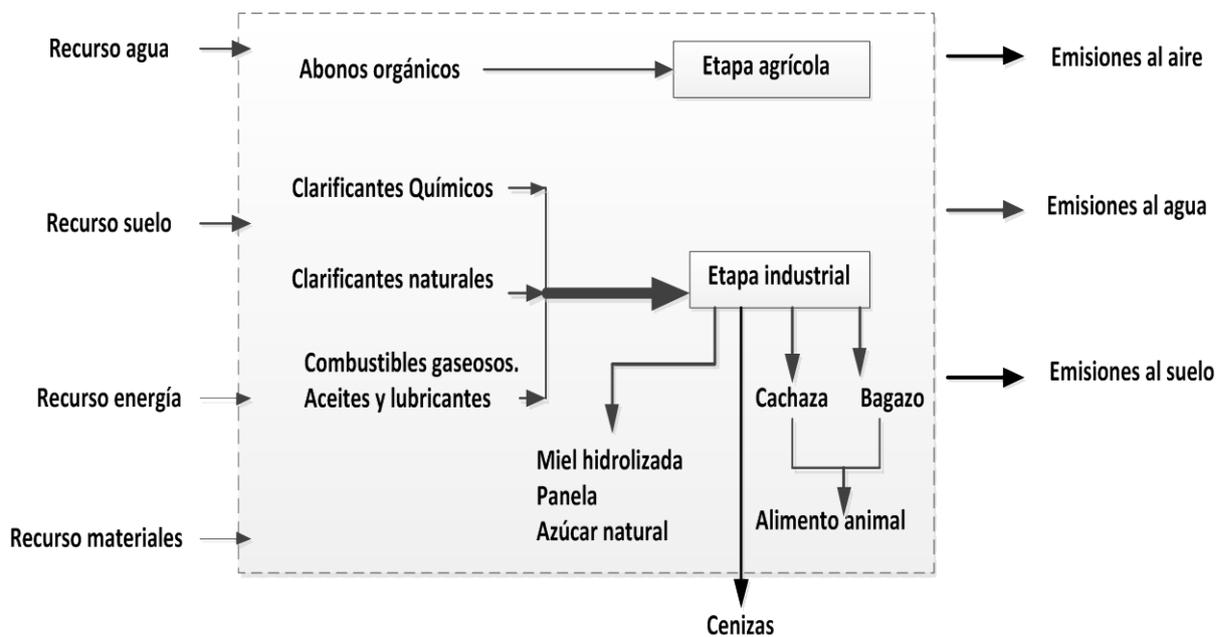


Figura 3.7 Límites para la producción de panela, azúcar natural y miel hidrolizada.

✓ **Inventario del ACV y balances de masa y energía.**

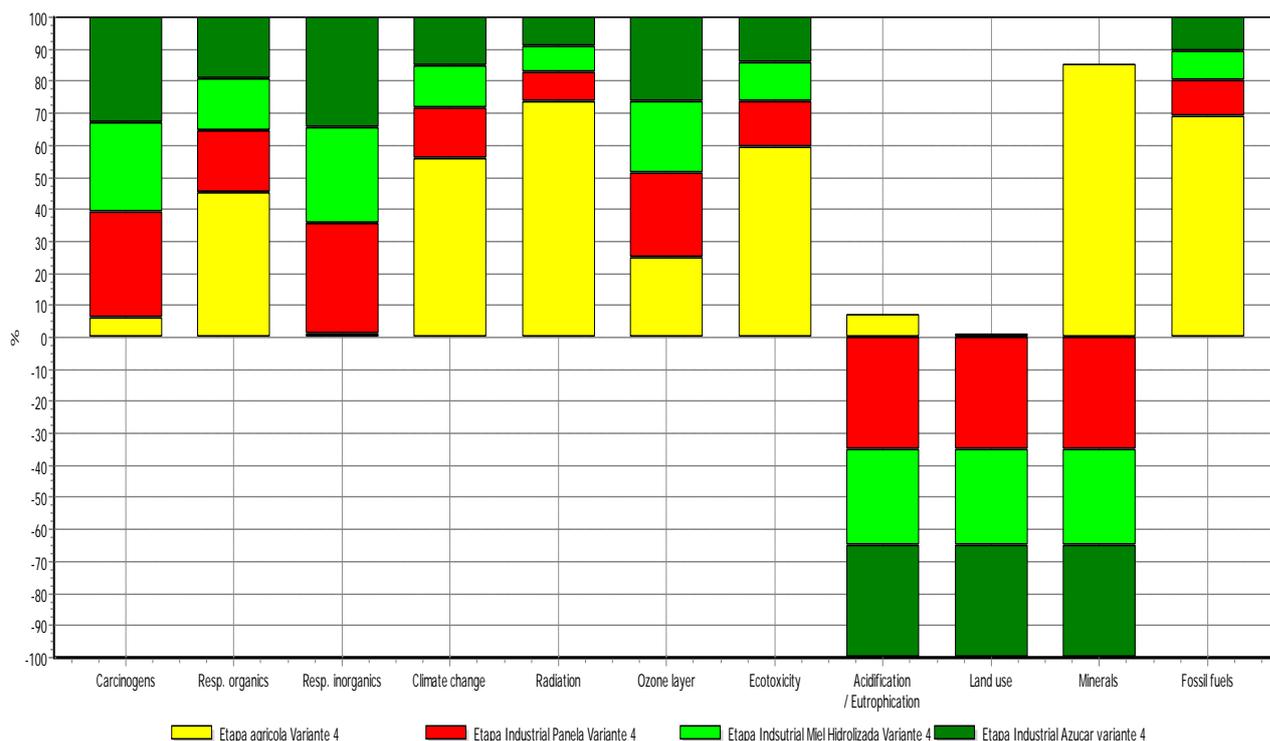
Tabla 3.6. Inventario del ACV para la producción de panela, azúcar natural y miel.

Principales entradas y salidas	Valores
ETAPA AGRÍCOLA	
H ₂ O superficial (m ³)	187,5
Terreno cultivo (ha)	0,4
Fábrica (m ²)	3000
Fertilizantes (gallinaza) (kg)	63,62
Preparación suelo (ha)	0,4
Siembra (ha)	0,4
Transporte (km)	150
ETAPA INDUSTRIAL	
Carbonato de calcio (kg)	10
Gas doméstico (kg)	6
Agua (L) m³/d	13,6
Energía eléctrica kw/d	81,81
Combustibles motor (L/d)	71,82
Distribución panela (km)	354
Panela (kg)	1435
Miel hidrolizada (kg)	1456

Azúcar natural (kg)	1345
Alimento animal (kg)	2100
Emisiones al agua	
DQO (kg)	0,38
DBO ₅ (kg)	0,245
Diésel (kg)	19
Ácido cítrico	0,728
Clarificantes químicos (kg)	7,5
Sólidos suspendidos (kg)	100
Vertimientos al agua (m ³ /d)	0,306
Emisiones al aire	
PM10 (kg)	43616
CO ₂ biogénico (kg)	4362
NO _x (kg)	3355
CO ₂ fósil (kg)	193, 19
CH ₄ (kg)	26,07
N ₂ O (kg)	1,56

En el **Anexo 17**, se muestra el árbol de impactos obtenidos para la producción los tres productos y valores de sus impactos por categoría.

A continuación en la figura 3.8 se puede observar, que la mayor contribución en todas las categorías de impacto la tiene la etapa industrial, con las producciones de miel, panela y azúcar natural, siendo estas dos últimas las más representativas. En la etapa industrial, el impacto la respiración de inorgánicos es el de mayor puntuación, debido a los procesos de combustión del diésel y el bagazo. A diferencia de la etapa industrial en las condiciones actuales en esta variante se logra una disminución considerable del impacto en las categorías acidificación –eutrofización, uso del suelo y minerales, lo cual se atribuye a la utilización de subproductos como alimento animal. En la etapa agrícola, el impacto se ve mayormente afectado por la categoría de combustibles fósiles, respiración de compuestos inorgánicos, cambio climático y carcinogénesis; y en menor puntuación categorías como la ecotoxicidad, acidificación, y minerales.



Analizando 1 p 'Panela Variante 4'; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Figura 3.8 Contribución de las categorías de impacto del Ecoindicador 99.

Se observa la comparación de los perfiles ambientales de la variante actual con la variante 4. La contribución de la variante 4 es menor en las siguientes categorías de impacto: cambio climático, radiación, acidificación/eutrofización, uso del terreno, minerales y combustibles fósiles. En las categorías carcinogénesis y respiración de inorgánicos los resultados son mayores en la variante 4, esto responde a que en esta alternativa se usa una mayor cantidad de caña, pues se obtienen tres productos, por lo tanto la cantidad de combustible utilizado fue incrementada, provocando mayores emisiones al aire. Esto último agravado porque no se ha considerado en el estudio el control de estas emisiones en los procesos de combustión.

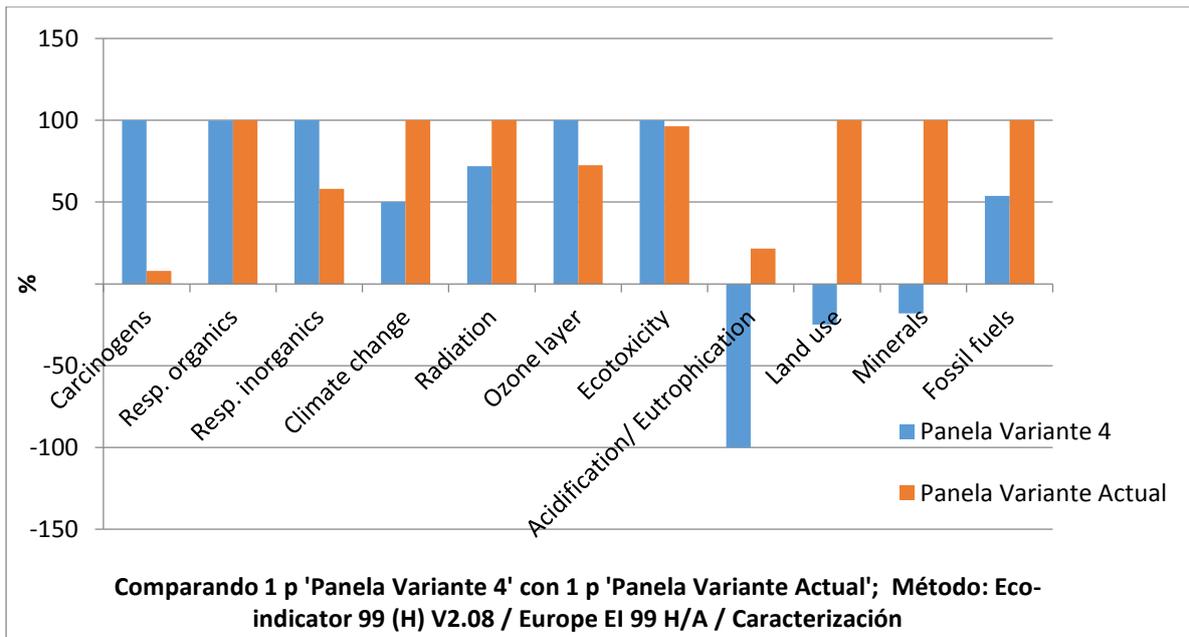


Figura 3.9 Comparación de los perfiles ambientales variante actual y variante 4.

Una comparación de la puntuación total de la variante actual y la variante 4 (figura 3.9), muestra que el impacto total es mayor en la alternativa 4, lo anterior se puede explicar por el incremento de la cantidad de caña molida en esta variante (10 t más) y un incremento de las emisiones al aire asociadas a los procesos de combustión. Sin embargo, este impacto mayor está condicionado a la producción de tres productos a diferencia de la variante actual donde se produce solo panela, por lo que la carga ambiental total ha sido dividida en tres.

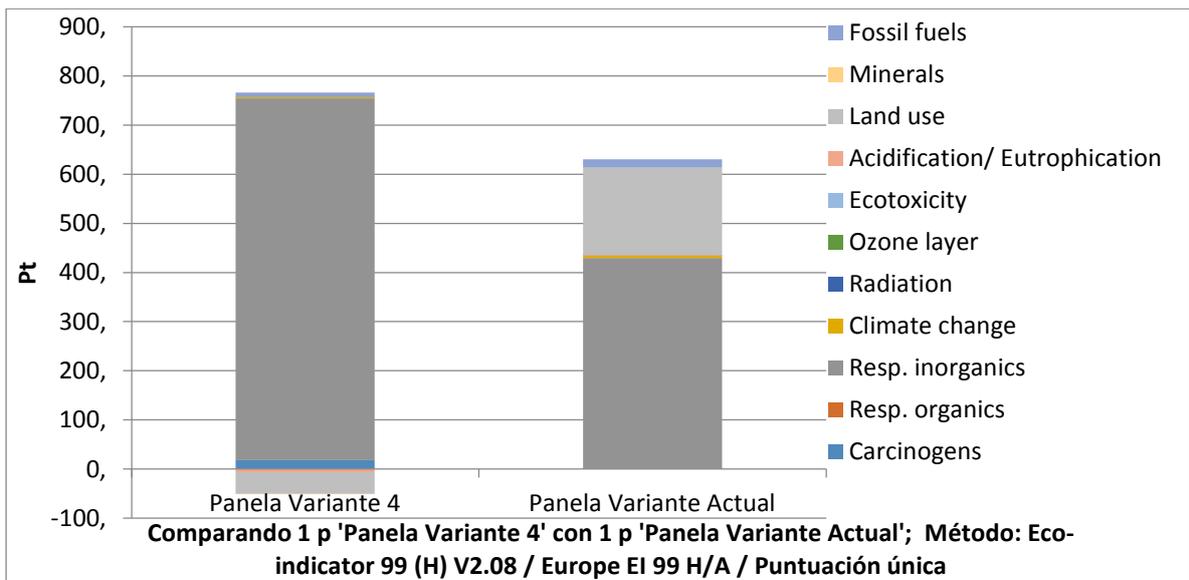


Figura 3.10 Comparación de los perfiles ambientales variante actual y variante 4.

Para demostrar lo anterior se comparó la producción de 1 kg de panela en las condiciones actuales y la propuesta. Un análisis de la figura 3.11 corrobora que la producción de panela en las condiciones de la variante propuesta es más factible desde el punto de vista ambiental.

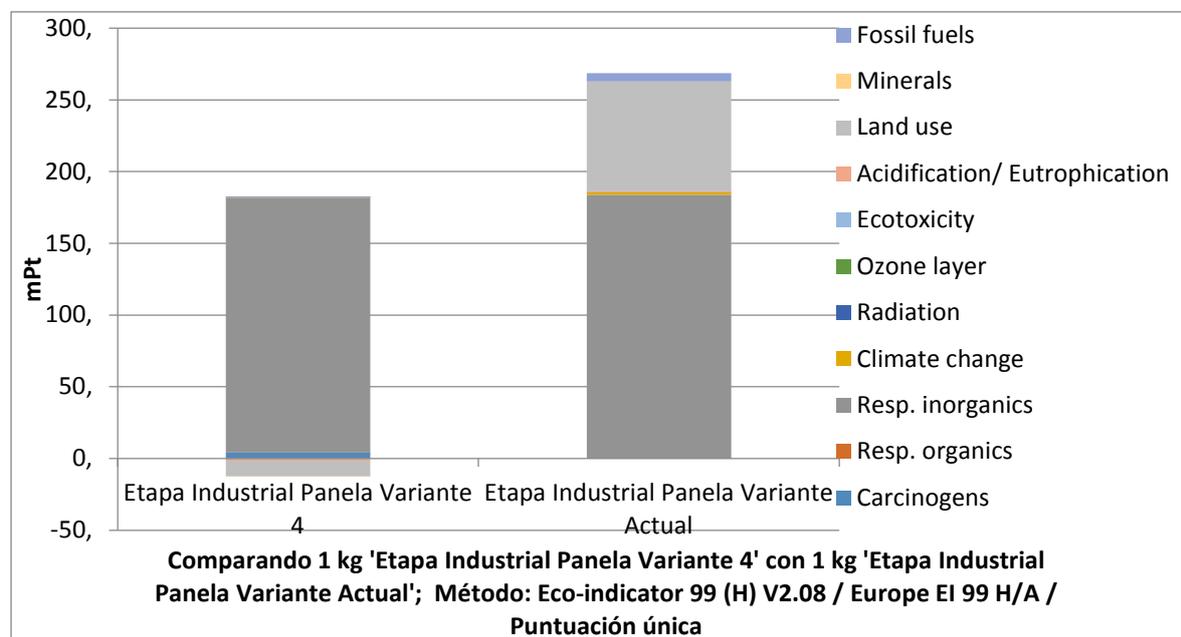


Figura 3.11 Comparación de los perfiles ambientales variante actual y variante 4.

Con las propuestas evaluadas el proceso se ve favorecido hacia el desarrollo de nuevos productos como: miel hidrolizada y fortalecer la producción de azúcar natural. Mejorar la eficiencia en las etapas de producción; incrementos en la capacidad de producción y uso de coagulantes naturales.

Los subproductos bagazo y cachaza se utilizan como bloques nutritivos o alimento animal. Los gases de combustión pueden ser utilizados como medio de calentamiento para el secado del bagazo que se utiliza como combustible en la hornilla panelera, aunque se debe valorar la inversión en equipos de control de emisiones.

La industria panelera ecuatoriana, está clasificada ambientalmente en la categoría II, que significa que para operar necesita una ficha ambiental. (Ministerio del Ambiente, 2013; 2014; CCAN, 2014).

Con la aplicación del ACV se determinan los impactos ambientales de las producciones, con un enfoque más integral del sistema para la reconversión de las plantas paneleras. Estos aspectos constituyen un aporte al sector, ya que no se han evaluado hasta el momento las características y la influencia de estos residuales al medio ambiente.

3.4 Evaluación económica del impacto de la intensificación y reconversión en la agroindustria panelera.

A partir de las propuestas de intensificación en el proceso de producción de panela y de reconversión, se procede a la adaptación y el aprovechamiento de los equipos instalados a las nuevas condiciones operacionales. La hornilla de combustión, clarificador y evaporación-concentración pueden ser utilizados, solo se requieren mejoras en sus accesorios.

En el **Anexo 18**, se listan los costos actualizados de todos los equipos y accesorios requeridos para la intensificación y reconversión de la planta y las empresas proveedoras. Para el secado del bagazo, se analizan dos variantes económicas en función de los secaderos utilizados.

Variante 1 Reconversión mediante secado natural del bagazo.

Variante 2 Reconversión con la utilización de un secadero neumático.

Tabla 3.7 Variantes económicas en función de los tipos de secaderos.

Costos / Variantes	Variante 1	Variante 2
Costo total de equipos (USD)	104453,93	166884.56
Costo total de inversión (USD)	536401,13	857000.45

La evaluación económica se realiza bajo una concepción global que involucra varios escenarios de comparación, dependiendo de la disposición de la caña de azúcar, la producción de panela, miel hidrolizada, azúcar natural, precio y de las alternativas combinadas de estas producciones.

Ganancia global = Ingresos globales – Gastos globales

Gastos globales = Costos de producción total + Gastos varios + Depreciación

En la tabla 3.8 se listan los precios a considerar para todas las materias primas, según referencias del mercado ecuatoriano, así como los precios de venta fijados para los diferentes productos y coproductos propuestos en el trabajo.

Tabla 3.8 Costo de materias primas, productos y coproductos.

MATERIAS PRIMAS		PRODUCTOS Y COPRODUCTOS	
Nombre del material	Precio, USD/kg	Nombre del material	Precio, USD/kg
Caña	0.03	Miel hidrolizada sin aroma	1.20
Clarificantes naturales	0.01	Miel hidrolizada con aroma	1.60
Clarificantes químicos	0.50	Panela sin aroma	0.90
Urea	0.20	Panela con aroma	1.50
Sal	0.20	Azúcar natural sin aroma	1.00

Aromatizantes	20.00	Azúcar natural con aromas	1.60
Ácido cítrico	1.55	Alimento animal	0.35
Envases plásticos miel (gl)	0.01	Bagazo	0.05
Cajas de cartón (24 unidades)	0.01		
Fundas plásticas (5 kg)	0.01		
Aceites y lubricantes	1.00		
Gas deshidratar el azúcar (kg)	0,17		

La valoración económica para 30 toneladas se resume en la tabla 3.9 considerando las alternativas de producción para los productos finales definidas en el epígrafe 3.2.

Tabla 3.9 Valoración económica para 30 toneladas según alternativas de producción y tipo variante de secado.

Alternativas		VP (USD)	Ganancia (USD)	VAN (USD)	TIR (%)	PRD (años)
1	Sin secadero	1706156,40	1132696.14	4868849.39	131	1.6
	Con secadero	1706156,40	1097380.12	4373815.43	85	2.4
2	Sin secadero	1716158,60	1142698.34	4916994.81	132	1.6
	Con secadero	1716158,60	1107382.32	4421960.85	85	2.3
3	Sin secadero	1472112,20	898651.94	3742281.43	106	2
	Con secadero	1472112,20	863335.92	3247247.47	68	2.8
4	Sin secadero	1615543,80	1042083.54	4432687.11	122	1.8
	Con secadero	1615543,80	1006767.52	3937653.15	78	2.5

Se puede observar que, para todas las alternativas y variantes, los indicadores económicos son favorables. Destacándose que en la variante de secado natural del bagazo, se obtienen mejores resultados respecto a la variante donde se utiliza el secado neumático. Por otra parte, en cuanto a las alternativas de producción, en orden de mejores índices económicos, son: alternativa 2, 1, 4 y 3.

En el **Anexo 19**, se aprecia el comportamiento del PRD, para las dos variantes estudiadas de secado y para la alternativa 4 de producción (Miel –Panela –Azúcar natural).

Para reconvertir industrias paneleras, resulta importante determinar la capacidad mínima con fines de una inversión segura, así como, valorar los indicadores económicos para la toma de decisiones. En la tabla 3.10, se presenta la cantidad de producto a obtener de acuerdo a las capacidades de: 10, 15, 20 y 30 toneladas de caña/día, para las cuatro alternativas de producción.

Tabla 3.10 Cantidad de productos obtenidos según alternativas de producción.

Producto kg	Caña t/d	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Miel	10	809,21	809,21		485,53
	15	1213,8	1213,8		728,3
	20	1618,42	1618,42		971,05
	30	2427,6	2427,6		1456,6
Panela	10	683,33		683,33	478,33
	15	1025		1025	717,5
	20	1366,67		1366,67	956,67
	30	2050		2050	1435,0
Azúcar	10		640,63	640,63	448,44
	15		961	961	679,7
	20		1281,25	1281,25	896,88
	30		1921,9	1921,9	1345,3

Se obtienen mayores cantidades de producción en las alternativas donde se produce miel hidrolizada en mayor porcentaje, combinado con el otro producto, donde la concentración final es menor, como es el caso de la panela, seguido del azúcar natural. En su orden son: alternativa 1, 2, 4 y 3.

La cantidad total de productos se obtiene sumando las cantidades de cada producto según la alternativa analizada. Ejemplo: para la alternativa 4, con 30 t, se obtiene:

Miel (1456,6 kg) + Panela (1435,0 kg) + Azúcar (1345,3 kg).

En la tabla 3.11 muestran los resultados económicos para la **variante 1**, secado natural, según las diferentes alternativas y capacidades. Los resultados de las ganancias y los indicadores dinámicos, son positivos a partir de las 20 y 30 t en todas las alternativas, y no viables para 10 y 15 t, según el PRD superior a los 3 años para este tipo de empresas.

Tabla 3.11 Resultados económicos de los productos utilizando secado natural.

Alternativas	Caña (t/d)	VP (USD)	Ganancia (USD)	VAN (USD)	TIR (%)	PRD (años)
1	10	571451,40	160491,14	192075,89	21	8
	15	857173,20	405587,94	1371115,48	52	3,5
	20	1142905,92	650695,66	2550207,64	80	2,5
	30	1706156,40	1132696,14	4868849,39	131	1,6
2	10	574785,38	163825,12	208123,94	21	7,9
	15	862191,20	410605,94	1395269,54	52	3,5
	20	1149567,38	657357,12	2582272,47	80	2,4
	30	1716158,60	1142698,34	4916994,81	132	1,6
3	10	493431,90	82471,64	-183469,71	8	15
	15	740168,00	288582,74	807912,85	38	4,8
	20	986863,54	494653,28	1799100,18	62	3
	30	1472112,20	898651,94	3742281,43	106	2

4	10	541244,60	130284,34	46675,95	17	9,5
	15	814249,80	362664,54	1164504,39	47	3,9
	20	1082488,68	590278,42	2259390,24	73	2,6
	30	1615543,80	1042083,54	4432687,11	122	1,8

Si bien los mejores valores de TIR y PRD son para las combinaciones de las producciones de miel-panela y miel-azúcar, es meritorio destacar que la alternativa 4 con la venta de todos los productos ofrece resultados muy positivos y permite obtener tres productos para la diversificación, por lo que se considera esta alternativa como la más atractiva.

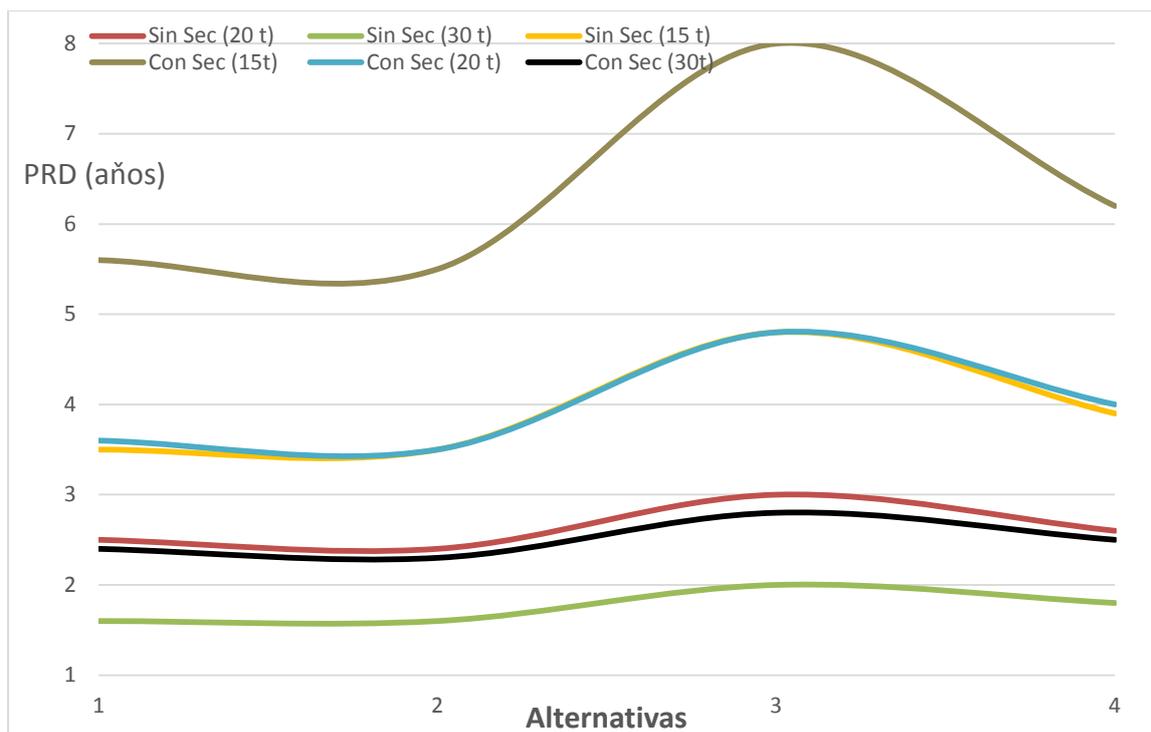
En la tabla 3.12 se muestran los resultados económicos para la **variante 2**, con el secadero neumático, según las diferentes alternativas y capacidades. Obsérvese como los resultados son favorables solo para todas alternativas cuando la capacidad es de 30 t/d.

Tabla 3.12 Resultados económicos de los productos con secador neumático

Alternativas	Caña (t/d)	VP (USD)	Ganancia (USD)	VAN (USD)	TIR (%)	PRD (años)
1	10	571451,40	125175.12	-302958.07	8	15
	15	857173,20	370271.92	876081.52	31	5,6
	20	1142905,92	615379.64	2055173.68	50	3,6
	30	1706156,40	1097380.12	4373815.43	85	2,4
2	10	574785,38	128509.10	-286910.01	8	15
	15	862191,20	375289.92	900235.59	32	5,5
	20	1149567,38	622041.10	2087238.51	51	3,5
	30	1716158,60	1107382.32	4421960.85	85	2,3
3	10	493431,90	47155.62	-678503.67	-4	
	15	740168,00	253266.72	312878.90	21	8
	20	986863,54	459337.26	1304066.22	38	4,8
	30	1472112,20	863335.92	3247247.47	68	2,8
4	10	541244,60	94968.32	-448358.01	4	
	15	814249,80	327348.52	669470.44	28	6,2
	20	1082488,68	554962.40	1764356.28	46	4
	30	1615543,80	1006767.52	3937653.15	7	2,5

En el **Anexo 20** se muestra el comportamiento de las ganancias en función de las alternativas sin y con secadero.

En la figura 3.12 se puede observar el comportamiento del PRD respecto al tipo de secado, alternativas de proceso y capacidades de producción. Como resultado se obtiene que, el PRD hasta 3 años, favorece para 20 t/d y 30 t/d utilizando secado natural y 30 t/d para la variante 2 al utilizar el secadero neumático; por tanto es viable la reconversión para estas condiciones.



Figuras 3.12 PRD según tipo de secado y alternativa de producción.

Finalmente, el impacto económico que tiene la reconversión en la industria panelera es positivo para todas las alternativas de producción evaluadas, sin embargo, considerando criterios de diversificación de la producción se selecciona la alternativa 4.

La selección de cada línea de producción y la combinación entre ellas dependerán de las disponibilidades y posibilidades de inversión y producción de la panelera, del interés de los productores y la demanda en el mercado. Sin lugar a dudas, la oferta y demanda de los productos en el mercado permitirá la salida de cada una de las alternativas de producción.

3.4.1 Análisis del impacto en la agroindustria panelera sin reconversión

En el Ecuador, existe gran diversidad de paneleras que dependen de la capacidad de producción. Resulta importante realizar un análisis de las paneleras en condiciones actuales y con extracciones del 50% y de acuerdo al número de empleados utilizados según la capacidad. En el **Anexo 21**, se expone una tabla con todas las variables de costo; se visualiza cómo influye la utilidad bruta respecto a la capacidad de molienda de caña de cada panelera.

El análisis de la capacidad mínima de procesamiento de una panelera para que sea rentable operando bajo condiciones actuales, responde a una necesidad del sector ya que no se evidencia crecimiento socioeconómico en los paneleros de la mayoría de estas factorías.

Según la figura 3.13, se indica que fábricas con capacidades de 1 t/día a 3 t/día subsisten y que están bajo y muy cercanas al primer círculo, identificado como de riesgo, lo que las hacen muy vulnerables. Paneleras a partir de las 4 t/d, la curva se aleja del círculo de riesgo, donde la actividad es segura y a medida que la capacidad de producción, se incrementa.

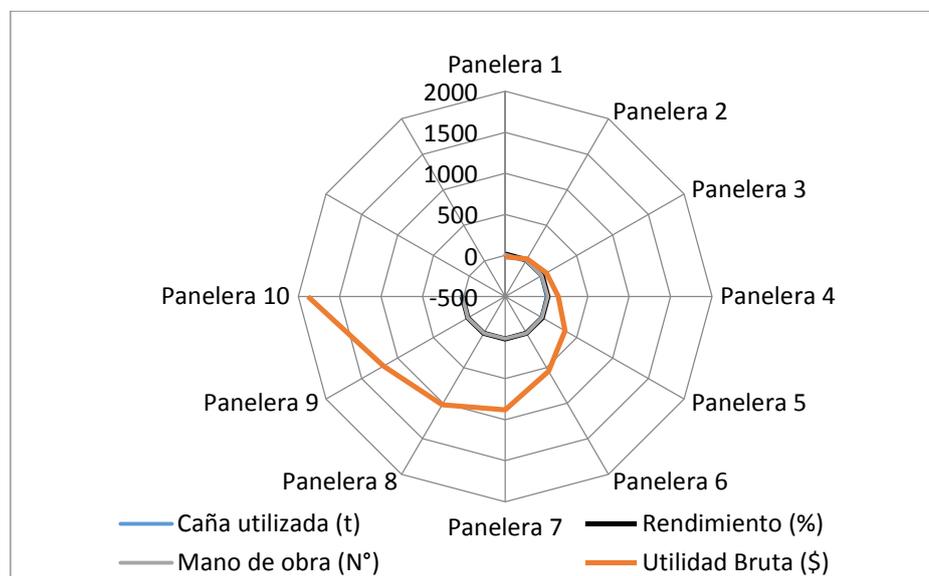


Figura 3.13 Representación esquemática según las diferentes paneleras.

Conclusiones Parciales

1. Es factible realizar la reconversión de la agroindustria panelera, basada en principios teóricos y de resultados de intensificación, con la incorporación de nuevas líneas de producción y sus combinaciones, dependiendo de factores internos y externos de la fábrica.
2. Alcanzar una eficiencia energética de la hornilla del 50% mediante el uso racional del bagazo con humedad del 30 % y aprovechando los gases de la combustión para el secado, fortalece la actividad agroindustrial desde el punto de vista económico y ambiental.
3. El aprovechamiento del bagazo y la cachaza para la alimentación animal, brinda beneficios técnicos y económicos para el sector panelero.
4. La extracción de aceites esenciales con fines de aromatización de los edulcorantes, es viable desde el punto de vista técnico, económico, y permite incrementar el valor de los productos obtenidos.
5. El secado del bagazo permite aumentar la capacidad de generación de energía y un sobrante de bagazo para ser empleado en la producción de bloques alimenticios.

6. El secado natural del bagazo resulta más factible económicamente que la utilización de un secador neumático, pero contribuye a un impacto ambiental negativo.
7. La valoración ambiental mediante el ACV para la panelera reconvertida corrobora que la etapa industrial es la de mayor contribución en todas las categorías de impacto. Sin embargo, el impacto la respiración de inorgánicos es el de mayor puntuación, debido a los procesos de combustión del diésel y el bagazo.
8. La capacidad mínima rentable para una panelera actual para producción de panela es de 4 t/día y para una fábrica reconvertida es de 20 t/día.
9. Las alternativas de producción para la reconversión de la industria son factibles técnica y económicamente, siendo más favorables para las que se produce miel hidrolizada. De todas, la alternativa 4 responde a los intereses de los productores con fines de diversificación hacia una agroindustria dinámica y competitiva.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. El procedimiento propuesto para la gestión tecnológica de la agroindustria panelera constituye una herramienta importante para la toma de decisiones, donde la intensificación y reconversión se convierten en estrategias para determinar alternativas de mejoras, diversificación y aprovechamiento de productos hacia el incremento de la competitividad del sector.
2. De acuerdo al procedimiento propuesto, la intensificación de procesos como camino hacia la eficiencia tecnológica permitió desarrollar y mejorar las etapas de clarificación en un 90 % como promedio en valores de turbidez, límites máximos de temperatura para evaporación y concentración en tres productos a diferentes altitudes, obtención de nuevos productos y aprovechamiento de conglomerados y sus rendimientos finales.
3. El abanico colorimétrico propuesto es una herramienta significativa para el sector panelero como criterio de calidad según el color, en los productos finales e intermedios.
4. La reconversión en la agroindustria panelera es factible ya que permite aprovechar los recursos disponibles, diversificar la producción y establecer capacidades de producción mínima rentables para el sector.
5. La aplicación de la metodología del ACV, utilizando el software Simapro7.0, para la agroindustria panelera permite una evaluación integral de sus procesos con ventajas desde el punto de vista ambiental en procesos convencionales, mejorados y reconvertidos.
6. Con la estrategia de intensificación y reconversión se propician alternativas para la producción de miel hidrolizada, panela y azúcar natural, con resultados positivos técnicos y económicos. La alternativa de producción de todos los productos responde a los intereses de los productores con fines de diversificación hacia una agroindustria panelera dinámica, eficiente y amigable con el ambiente.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el diagrama heurístico como procedimiento orientador para la intensificación y reconversión de industrias paneleras.
2. Realizar estudios de alianzas como estrategia de fortalecimiento del sector para propiciar acuerdos que orienten a la investigación, innovación y desarrollo de productos.
3. Continuar los estudios de investigación con análisis de ciclo de vida para la agroindustria panelera, para contribuir a la obtención de eco-indicador propio para el sector.
4. Continuar los estudios del proceso de obtención de alcohol a partir de cachaza combinando con otros sustratos azucarados con fines de alcanzar resultados viables para la inversión.
5. El abanico colorimétrico para la agroindustria panelera (ACAP), debe ser considerada como una alternativa válida por los organismos de control.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiar, S. B. (2001). Bases técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo de la caña en el departamento de Casanare. CORPOICA. Boletín técnico No. 24. Editora Guadalupe. Colombia.
2. Aguilar, N. (2011). Competitividad d la agroindustria azucarera de la Huasteca México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México, p. 321.
3. ACTA (2013). Ojo al color de las panelas. Publicaciones. ACTA. Asociación Colombiana de Ciencia y tecnología de alimentos. Bogotá, D.C. pdf. <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/ojo-al-color-de-la-panela.pdf>. [Consulta: Enero, 2014].
4. ALADI (2006). Oportunidades Comerciales para Ecuador en el Marco del acuerdo de complementación económica N° 59. Secretaria General de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI). Ecuador.
5. Albernas, Y. (2014). Procedimiento para la síntesis y el diseño óptimo de plantas discontinuas de obtención de bioetanol empleando bagazo de caña de azúcar. Universidad Central de las Villas. Tesis Doctoral. Cuba.
6. Aldana & La Madrid. (2007). Implementación de mejoras tecnológicas para el módulo de producción de panela granulada de Santa Rosa de Chonta, Montero, Ayabaca, Perú. Programa de Ciencia y Tecnología FINCyT. Universidad de Piura. Sección Energía. Perú. Pdf.
7. Álvarez, L. (2004). Panela en Estados Unidos. http://fises03.fisica.unav.es/PDF/Wolluschek_Perri_Cecilia_Edith.file1.1054541428.pdf
8. Aragón, C. (2009). Gestión energética en plantas paneleras de la provincia de Pastaza con vistas a proponer un combustible alternativo. Universidad Estatal Amazónica. Tesis Ingeniero. Puyo, Ecuador, p. 7.
9. Atehortua, L. (2012). Nuevas perspectivas en las industrias alimentaria y farmacéutica. Revista VITAE. 2012. Volumen 19, suplemento 2. Revista de la Facultad de Química y Farmacia. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia, p.17.
10. Avalos, L. (1993). Aproximación a la gerencia de la tecnología en la empresa. Martínez E. (editor). Estrategias, planificación y gestión de ciencia y tecnología. Editorial Nueva Sociedad. Caracas Venezuela.
11. Baquero, M. & Lucio-Paredes, A. (2010). La Agroindustria ecuatoriana: un sector importante que requiere de una ley que promueva su desarrollo. La Granja 11(1). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador, pp. 44-46.

12. Barona, R. (2002). Proyecto de desarrollo tecnológico. Capacitación y obtención de nuevos productos derivados de la caña y manejo adecuado de la agroindustria panelera. Municipio de Mocoa. FUNACH-ASCAPAM. Colombia.
13. Batule, E. (2004). Fundamentos de Clarificación del jugo de caña y meladura. Capítulos I, II, III. Serie azucarera 15. 15 BN-9977-54-D56X. Cuba.
14. Batule, E. (2005). Filtración en la industria azucarera. Serie azucarera: 3. Cuba.
15. SEMPLADES. (2013). Buen Vivir. Plan Nacional 2013-2017. Secretaria nacional de Planificación. Semplades. Ecuador, p.12.
16. BCE (2007). Programa de encuestas de Coyuntura. Banco Central del Ecuador. Caña de azúcar. Ecuador, p.22
17. Bello C. (2006). Manual de producción. Segunda edición. ECOE ediciones, Colombia, pp.11- 24.
18. Blanco & Zumalacárregui. (2006). Comportamiento de la viscosidad de la disolución mucilaginosa de cadillo Triunfeta empleada en la clarificación de jugos de caña. Instituto. Revista de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas. No 3. Centro Azúcar, Cuba, p.15.
19. Bonem, J. M. (2011). Problem solving for process operators and specialists. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-470-62774-7 (cloth)
20. Boucher, F. & Muchnik, J. (1995). Agroindustria rural, Recursos Técnicos y Alimentación. Serie Agroindustria Rural CIRAD-CIID-IICA No. 1 ISBN 92-9039-2745.
21. Brown, M. & Cohenb, M. (2009). Predicting national sustainability: The convergence of energetic, economic and environmental realities. Elsevier B.V. Ecological Modelling 220. 3424–3438.
22. Burgess, A.A. & Brennan, D.J. (2001). Application of life cycle assessment to chemical processes. Elsevier Science Ltd. Chemical Engineering Science 56 (2001) 2589-2604
23. Campbell J. (1999). The Reliability Hand Book. Plant Engineering and Maintenance. A Clifford/Elliott Publication. Volume 23, Issue 6.
24. Calleja, F. et al. (2002). Introducción a la Ingeniería Química. Editorial Síntesis.
25. Cardona, M. (2009). Seguimiento de las variables fisicoquímicas del clarificador SRI y verificación de la eficiencia del tacho continuo Fletcher Smith para la optimización de la elaboración de azúcar en el ingenio Risaralda. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, p.30

26. Carlosama, P. F. (2009). Diseño del plan y documentación para la implementación de buenas prácticas de manufactura para la elaboración de panela granulada para las unidades productivas paneleras de la COPROPAP de pacto. Tesis para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Quito. Ecuador.
27. Carnevali, A. et al. (2001). Bagazo, melaza y urea en raciones de engorde para bovinos. Sitio Argentino de producción Animal. Artículo científico, pdf.
28. Castellanos, O.F. (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia. Giro Editores Ltda. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. BOGOTÁ D.C. ISBN: 978-958-8536-15-6
29. Castillo, M. & Ganchozo, M. (2004). Elaboración y comercialización de la panela granulada NUTRIPANELA en la ciudad de Guayaquil. Escuela Politécnica superior del Litoral. Tesis de ingenieros. Guayaquil, Ecuador, p. 27.
30. Castro, C.; Sarache, R.; Ibarra, W. A. & Mirón, S. (2006). Procedimientos para la selección del sistema de gestión de la producción en empresas manufactureras. Scientia Et Technica, Vol. XII, Núm. 31, agosto-sin mes, 2006,. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, pp. 183-188.
31. CCAN. (2014). Categorización ambiental Nacional según acuerdo Ministerial 006. Cámara de Industrias y Producción CCAN. Boletín de ambiente y seguridad industrial # 25. Quito. Ecuador.
32. Cevallos, F. (2014). Los Concesos son esenciales para el cambio de la matriz productiva. La economía nacional necesita de la alianza público-privada. Gestión Pública. CORPORACIÓN EKOS, 2014. EKOS NEGOCIOS ECUADOR. Ecuador.
33. Charles E. Thomas. (2011). Process Technology Equipment and Systems. Third Edition. Delmar, Cengage Learning. ISBN-13: 978-1-4354-9912-6
34. Chase et al, (2005). Administración de la producción y operaciones, para una ventaja competitiva. Décima edición, McGrawHill. México, p.43
35. Chávez, Marco. (2008). Uso de la caña de azúcar como forraje. Artículo técnico publicado en La Ventana Lechera. Revista Especializada. Edición N° 10, año 3. San José, Costa Rica, pp.45-51.
36. Chen, J. (1991). Manual del azúcar de caña. Noriega Editores. Editorial LIMUSA. México, p.237.
37. Cheremisinoff, Nicholas. (2000) Handbook of Chemical Processing Equipment. Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-7126-2

38. Chungu et al. (2013). Assesment of Village Level Sugar Processing Technology in Tanzania. REPOA. N°. 01.4. Mkukina Nyota publishers. Tanzania.
39. Clavo, Nelson, (1974). Respuesta a diferentes niveles de urea por novillos alimentados con melaza y bagazo de caña de azúcar. Tesis de magister Scientiae. Instituto de ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica, p.13.
40. Colectivo de autores. (1998). Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga. CORPOICA– SENA. Colombia, p.145.
41. Collaguazo, K. F. (2007). Construcción de un prototipo mecánico de batido para mejorar el proceso de producción de panela granulada artesanal. Proyecto de titulación previo a la obtención del título de tecnólogo en procesos de producción mecánica.
42. CONSEP (2011). Manejo del alcohol etílico en Ecuador. Consejo Nacional de sustancias estupefacientes y psicotrópicas. Dirección Nacional de Control y Fiscalización.
43. Contreras, A.M. (2007). Metodología para el análisis del ciclo de vida combinado con el análisis energético en la industria azucarera cubana. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.
44. CORPOICA (1996). Artículos Técnicos sobre el Cultivo de la Caña y la Elaboración de Panela. Colombia.
45. CORPOICA (2001). Manual de caña de azúcar para producción de panela. Segunda edición. Bucaramanga. CORPOICA, pp. 62-69.
46. Couper, J. & Roy Penney, W. (2012). Chemical process equipment. Selection and design. Elsevier Inc ISBN: 978-0-12-396959-0.
47. Cross, W.T. & Ramshaw, C. (1986). Process intensification. Flow laminar transfer. Chemical. Engineering. Chem. Eng. Res. Des., pp. 64, 293.
48. Cuevas, R; Masera, O. & Díaz, R. (2004) Calidad y competitividad de la agroindustria rural de América Latina y el Caribe. Uso eficiente y sostenible de la energía. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. 153. Roma. ISSN 1020-4334.
49. Culqui, E. & Zumaeta, D. (2011). Optimización de pH, aglutinante y temperatura de punteo para minimizar el color de la panela orgánica en la planta procesadora de Valera –La Coca, Provincia de Bongará, región Amazonas, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Tesis. Chachapoyas, Perú.

50. D'Angelo J.; Paz D. & Cárdenas G. J. (2006) "Posibilidades del secado de bagazo en la industria azucarera de México" *Rev. Ingeniería Mecánica Tecnología y Desarrollo*. Vol. 2 No. 2, pp. 41-46
51. De la Cruz, M.L. (2010) Estrategia de modificación de las facilidades auxiliares para la reconversión de la industria química. Tesis presentada en opción al grado científico en Doctor en Ciencias Técnicas (PhD) Cuba.
52. De los Reyes, J.A (2011) Plan de implementación y desarrollo de buenas prácticas de manufactura en la elaboración de panela granulada y en bloque en la planta panelera gardenia. Tesis de grado de Ingeniero Agroindustrial. Quito, Ecuador.
53. Delgado, F. & Escobar, C. (2009) Innovación tecnológica, soberanía y seguridad alimentaria. Editor Agruco-Captured. Bolivia. ISBN: 978-99954-1-190-9.
54. Derissen, S., Quaas, M. & Baumgärtner, S. (2011). The relationship between resilience and sustainability of ecological-economic systems. Elsevier B.V. *Ecological Economics* 70. 1121–1128
55. Dimian, A.; Bildea, C.S. (2008). *Chemical Process Design*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co..ISBN: 978-3-527-31403-4. pp. 1- 17.
56. Donen, S. (2013) From Concept to Commercial Production. Rivertop Renewables. *Chemical Engineering*. USA, p. 46.
57. Dueñas, H. (2002) Gestión tecnológica como herramienta para generar ventaja competitiva para la empresa. Monografía. Universidad EAFIT. www.eafit.edu.co, Departamento de Organización y Gerencia.
58. Duran, N. (2007). *Reingeniería Panelera*. Colombia.
59. Elshout, R & Garcia, D. (2009) Revamps: Strategies for A Smooth Turnaround. *Chemical Engineering*. July 2009.
60. Enríquez, O.D. (2004). Análisis técnico de la agroindustria panelera de los Cantones Ibarra y Urcuqui. Tesis Ingeniería. Agroindustrial., Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
61. Espinal, C. F. (2005). La cadena agroindustrial de la panela en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia.
62. Escalante et al. (2012). Aprovechamiento de desechos orgánicos: Extracción y caracterización del aceite de semillas de naranja colectadas en expendios ambulantes de jugo. *Avances en Química*. 7(3), 181-186. Venezuela.

63. Espinosa, A. (1997). Manejo del jugo de caña en la elaboración de panela de buena calidad. Segundo curso Internacional de caña Panelera y su agroindustria. CIMPA. Barboza, Colombia, p. 353
64. Estrella, L. (2004). Agricultura Orgánica en ECUADOR. Septiembre 2004. Liggia Estrella, CORPEI. SECURED.
65. Fernández, N (2003). Estudio para la implementación de una planta de producción de panela. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Mecánica Industrial. Tesis de grado de Ingeniero. Guatemala.
66. Fito et al. (2001). Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, p.94.
67. FLACSO, (2010). Boletín de análisis sectorial y de MIPYMES. Sector agroindustrial. Programa de economía. Quito, Ecuador, p. 11.
68. Fonseca, S. (2002) Guía ambiental para el subsector panelero. Sociedad de Agricultores de Colombia. Federación Nacional de Productores de Panela. FedePanela.
69. Freund, H. & Sundmacher, K. (2008). Towards a methodology for the systematic analysis and design of efficient chemical processes. *Chemical Engineering and Processing* 47. 2051–2060
70. FUNACH & ASCAPAM (2002). Capacitación en obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera. Guía para la elaboración de panela. Programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria Pronatta. Mocoa. Colombia.
71. Gallardo A. (1990) Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
72. Gallardo, I., et al (2009). Procesos de purificación y concentración en la producción de etanol de diferentes calidades. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Cuba.
73. Garcés, R. & Martínez, S. (2010). Estudio del poder calórico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda. Tesis de grado. Universidad de Pereira. Colombia, p.39.
74. García B. H. R. (2004). Oportunidades de producción limpia en la agroindustria de la panela. Bogotá, CORPOICA – CINSET. Colombia, p.115.
75. García, H. et al. (2010). Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela. CORPOICA, Colombia.

76. García, M. C. (2005) Hornillas Paneleras. Evaluación De Su Impacto Ambiental. Bogotá,
77. Geankoplis, C. (1998). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. México D.F: Continental S.A.
78. Goedkoop, M. & Spriensmaa.R. (1999). The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment.
79. González, E. et al. (2004). Los estudios previos para minimizar la incertidumbre en la absorción de tecnologías que emplean la biomasa como fuente de productos químicos y energía. CYTED.
80. González, E. et al. (1993). Aplicación del Análisis Complejo de Procesos en la intensificación de instalaciones de la Industria Química en países en vías de desarrollo. UCLV.
81. González, E. et al. (2008). Asimilación (Adopción) y reconversión de tecnologías para la producción de Biocombustibles. Ediciones cooperativas. CYTED. ISBN 978-959-7136-58-3.
82. González, N. (2008) Estrategia de reconversión de una instalación de la industria química. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. MINBAS. Villa Clara.
83. Guerra, M. J & Mujica, M. V. (2009). Physical and chemical properties of granulated cane sugar “panelas”. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas ISSN 0101-2061.
84. Hall. C. W. (1983). Drying technollogy An International Journal. New York.
85. Hernández, E. & Amaya, F. (2003). La calidad nutricional alternativa para recuperar el consumo de panela o papelón. INIA-Táchira. Venezuela.
86. Holt, Eric (2008). Campesino a Campesino. Voces de Latinoamérica. Movimiento campesino a campesino para la agricultura sustentable. SIMAS, Managua, Nicaragua. Food First Books, Oakland, california. Managua, p.281
87. HOY (2013). La panela endulza ganancias campesinas. Provincias como Pastaza y Pichincha buscan incrementar su producción ante el creciente mercado extranjero de la panela. Quito. Ecuador. Diario <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/la-panela-endulza-ganancias-campesinas-375998.html>. [Consulta: 4 octubre, 2013].
88. Hugot, E. (1984). Manual para Ingenieros Azucareros. Séptima reimpresión. CECSA. México, p. 436
89. ICCA (2008). El comercio justo como alternativa para el desarrollo equitativo. Propuesta para una estrategia de fortalecimiento y consolidación del comercio justo en

- Colombia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Cuaderno Técnico N° 38. ISBN13: 978-92-9039-869-1.
90. ICCA (2009). Informe anual. La contribución del ICCA al desarrollo de la agricultura y las comunidades rurales en Ecuador.
 91. ICCA & SENA (2011). Estrategia de apoyo al desarrollo tecnológico y a la innovación agroindustrial en Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA Oficina en Colombia. ISBN: 978-958-99415-2-2
 92. INCOTEC (2009). Norma Técnica Colombiana. NTC 1311. Productos Agrícolas. Panela. Tercera edición actualizada. Colombia. 3p.
 93. INEC (2002). III Censo Nacional Agropecuario. Instituto nacional de estadística y Censos (INEC). Resultados Nacionales. Ecuador.
 94. INEN (2002a). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2 331. Panela sólida. Requisitos. Primera edición. Quito, Ecuador.
 95. INEN (2002b). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2 332. Panela granulada. Requisitos. Requisitos. Primera edición. Quito Ecuador.
 96. ISO.14040. (2005). Environmental management. Life Cycle Assessment. Principles and. ISO.14044. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.
 97. Jaffé, W. (2012a). Health effects of non-centrifugal sugar (NCS): A Review. Sugar Tech. An International Journal of sugar Crops and related Industries. Springer. Volume 1, number 2. ISSN 0972-1525. Venezuela.
 98. Jaffé, W. (2012b). Non centrifugal sugar: world production and trade. PANELA MONITOR. www.panelamonitor.org.
 99. Jaffé, W. (2014). No centrifugal sugar cane (NCS) (panela, jaggery, gur, muscovado) process technology and the need of its innovation. PANELA MONITOR. www.panelamonitor.org
 100. Keil, F.J. (2007). Modeling of Process Intensification. Book. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp.1-12.
 101. Keller, G.E., II. & Bryan, P.F. (2000). Process engineering: moving in new directions. Chemical Engineering Progress, January, pp. 41-50.
 102. Kiran, S.; Sarvan, K.; Narendra, S. & Sanjay M. (2013). Energy improvements in jaggery making process. Energy for sustainable Development. ELSEVIER. India.

103. Lara, N. (2010). Modelación de la Solubilidad de Panela Granulada y Otros Edulcorantes en Agua. Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. 23, N. 2, 25-31. Ecuador.
104. Lazzarini, I. (2009). Producción de calidad en el Ecuador. Guía sobre las certificaciones y normativas. UCODEP. IFAD. Ecuador.
105. Ley, N. (2006). Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de biocombustibles, Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Cuba.
106. López, J. & Osorio, J. (2000). Manejo agronómico y beneficio de la caña panelera. Informe técnico proyecto fortalecimiento y capacitación técnico empresarial para cuatro microempresas agroindustriales del municipio de Granada.
107. Lutze, P.; Gani, R. & Woodley, J. M. (2010). Process intensification: A perspective on process synthesis. Chemical Engineering Processing 49 (2010) 547-558.
108. MAG (2006). La agroindustria en Ecuador. Diagnóstico integral. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
109. Maldonado, A. & Rubio, K. (2006). Obtención de panela soluble y aromatización con canela. Universidad Técnica del Norte. Tesis de grado. Ecuador.
110. Manual (2002). Manual de los derivados de la caña de azúcar.”, Tercera Edición, La Habana. Cuba.
111. Martín, F. & Ramón, A. (2012). Rendimiento agroindustrial en la producción de panela granulada de variedades certificadas de caña de azúcar, (*Saccharum officinarum*), de origen cubano y nacionales sembradas desde los 400 hasta los 1000 msnm, en la Provincia de Morona Santiago. MAGAP, Ecuador.
112. Maseda, A. (1999). Gestión de la calidad. Editores Alfaomega-marcombo. Colombia, p.14.
113. Maspons, R. (2000). Innovación, Vigilancia e inteligencia. De la Vigilancia tecnología a la Inteligencia competitiva. <http://www.biomundi.pco.cu>.
114. Mayela, E.; Segura & Rodríguez, (2012). Panela Granulada ecológica. Contribuyendo a la seguridad alimentaria. AGROENFOQUE, Perú.
115. McBride, A.C. et al. (2011). Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems. Elsevier Ltd. Ecological Indicators 11, 1277–1289
116. McCabe, W.; Smith, J. & Harriot, P. (1998). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Madrid: Mc Graw Hill.

117. MCPEC (2010). Agenda para la transformación productiva. Ministerio de Coordinación de la producción, empleo y competitividad. Ecuador.
118. Mejía, A. M. (2007) Propuesta para la implementación del sistema de gestión ambiental en el trapiche panelero –HVC-. Práctica empresarial para optar por el título de administración del medio ambiente. Universidad Tecnológica de Pereira.
119. Mendieta, et al. (2011). Ahorro de combustible y energía en hornos usados para la elaboración de panela modificando el diseño de las pailas abiertas. Revista Fuentes. El Reventón Energético. Vol.9 N° 2. Colombia.
120. Mesa, L. (2010). Estrategia investigativa para la tecnología de obtención de etanol y coproductos del bagazo de la caña de azúcar. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas Especialidad, Ingeniería Química. Santa Clara.
121. MIC (2009). Plan nacional de Desarrollo agroindustrial. Ministerio de Industrias y Competitividad MIC. Quito Ecuador, p. 6.
122. MIES (2010). La I feria inclusiva de la panela granulada un evento para la asociatividad, la solidaridad e inclusión. Ministerio de Inclusión Económica y Social del Ecuador. <http://www.mies.gov.ec>
123. Mina, J. & Vásquez, K. (2003). Obtención de panela aromatizada con cedrón, menta y hierba luisa. Universidad Técnica del Norte. Tesis de grado. Ecuador.
124. Ministerio del ambiente (2013). Categorización ambiental Nacional. Quito.
125. Ministerio del ambiente (2014). Anexo 1. Catálogo de categorización nacional ambiental CCAN. <http://www.cip.org.ec/attachments/article/2285/ANEXO%201%20CCAN.pdf>. [consulta: 11 de agosto 2014].
126. Ministerio del Medio ambiente (2002). Guía ambiental para el subsector panelero. Gobierno de Colombia.
127. MIP (2012). País Productivo. Revista del Ministerio de Industrias y Productividad. ISSN 1390-7522. Quito.
128. MIPRO (2009). La caña de azúcar y su importancia para el Ecuador. Boletín de Perspectiva Industrial. N°8. Ecuador, p. 8.
129. MIPRO (2010). La caña de azúcar. Estudio agroindustrial en el Ecuador. Competitividad de la cadena de valor y perspectivas de mercado. Ministerio de Industrias y competitividad MIPRO. República del Ecuador, p. 21.

130. Moosen, A. (2007). Beet – Sugar Handbook. Wiley Interscience. A John Wiley, Inc, Publication. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada, p. 670.
131. Morales, M. (2012). Estrategia para la reconversión de una industria integrada de azúcar y derivados para la producción de etanol y coproductos a partir del bagazo. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCVL, Cuba.
132. Mosquera, S. A. (2007). Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias 18 Vol. 5 No.1.
133. Moya, G. (2000). Manual para la Producción de la panela. Con el apoyo de la Corporación Financiera Nacional. CFN. QUITO Ecuador. p. 11.
134. Mujica, M. (2007). Evaluación de panelas granuladas artesanales y estudio de algunos factores que afectan su calidad. Universidad Simón Bolívar. Tesis de Como requisito Magíster en Ciencia de los Alimentos. Venezuela, p. 23
135. Mujica, M. V.; Guerra M. & Soto, N. (2008). Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada. AUG 2008, VOL. 33 N° 8. INTERCIENCA. Venezuela, pp. 598-603.
136. Nuchera, H. (1999). La gestión de la tecnología como factor estratégico de la competitividad industrial. Revista Economía Industrial. No.330, 1999/VI.
137. Núñez, S; Rodríguez, E; Mendoza, J. & Riera, G. (2011). Algunas operaciones básicas de la industria química para el ingeniero industrial. Editorial Félix Varela. Habana-Cuba, pp. 215- 238- 239.
138. Ochoa, C. (1973). Efecto del nivel de proteína y bagazo de caña sobre efectos de crecimiento de toretes alimentados con melaza. Tesis de Magister. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica, p.9.
139. Ortega, C. & Cabrera, A. (2006). Análisis prospectivo de la cadena de la caña de azúcar y sus derivados en los sectores: Malacatos, Vilcabamba y la Palmira. Loja-Ecuador.
140. Ortiz, G. & Irazustabarrena, A. (2001). Tendencias de futuro en el medio ambiente industrial. Tecnologías y escenarios. ECONOMÍA INDUSTRIAL °N 342 / VI.
141. Osorio, G. (2007). Manual: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela. Colombia. FAO. ISBN 978-92-5-305910-2.
142. Pawar, S. y Dongare, M. (2001). Scientific studies on jaggery manufacturing process. Coop. sugar 32: 369-374

143. Paz, D. & Cárdenas, G. J. (1999). Secadero de bagazo o economizador: análisis comparativo de su influencia en el rendimiento energético neto de una caldera bagacera. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. Tomo 76. Argentina, p.17-26.
144. Pérez, A. D. (2011). La necesidad de la intensificación de procesos en la industria química. Universidad Nacional de Colombia.
145. Pérez, A. & Ablan, B. (2008). Medición in situ de los valores de las principales variables asociadas al proceso de fabricación de miel y panela de caña de azúcar. *Rev. Fac. Farm.* 2008; 50 (2)
146. Perry. Robert H. (1988). *Chemical Engineers `Handbook*, Editorial Mc Grow Hill, Sexta Edición.
147. Pons Hernández (1987). *Termodinámica para ingenieros químicos*. Habana, p.183.
148. Poveda, V. (2014). Ecuador, El cambio de la matriz productiva y los retos por la sustitución de importaciones. d+i LLORENTE & CUENCA, Consultora senior, www.dmasillorenteycuenca.com
149. Pozo, A. & Maldonado, A. (2006). Obtención de azúcar orgánico y aromatización con extracto esencia de naranja. Universidad Técnica del Norte. Tesis de grado. Ecuador
150. Prada, L. (1999). Desarrollo de nuevos productos con panela y miel. Disponible en <http://200.13.202.26:90/pronatta/curso%20guayaga/desarrollo>.
151. Prada, L. E. (2002). Mejoramiento en la calidad de la miel y la panela. Corporación colombiana de investigaciones agropecuarias. Centro de investigación CIMPA. CORPOICA Regional 7.
152. PRONATTA (2002). Programa Nacional De Transferencia De Tecnología Agropecuaria. Guía para la elaboración de panela. Mocoa, Colombia.
153. PROECUADOR (2011). Información de primer Nivel. Instituto de Promoción de exportaciones e inversiones. Producto Panela. Ministerio de Relaciones Exteriores. Ecuador.
154. Pung, S. & Hammers R. (2010). Lessons in Feedstock Change. Solid processing. *Chemical Engineering*. October 2010, p. 52.
155. Quezada, W. (2007a). Determinación de parámetros óptimos para la producción y aromatización de miel hidrolizada, panela soluble y azúcar. Consejo Nacional de Educación Superior (CONESUP)- Universidad Técnica del Norte. Centro de investigación científica y tecnológica "CUICYT". Ibarra, Ecuador, p.121.

156. Quezada, W. (2007b). Guía técnica de Agroindustria Panelera. Guía de estudio. Universidad Técnica del Norte. Creadores Gráficos. ISBN 978-9942-01-328-6. Ibarra. Ecuador, pp.48- 66.
157. Quezada, W. (2005). Obtención de miel hidrolizada por inversión ácida a partir del jugo de caña y transferencia de tecnología al sector panelero de Imbabura. Universidad Técnica del Norte. Centro de investigación científica y tecnológica "CUICYT". Ibarra Ecuador, p. 66
158. Quezada, W.; Gallardo, I. & Quezada, D. (2014). Temperatura y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en el Ecuador". **Revista ICIDCA**, Vol. 48. ISSN: versión impresa: 0138-6204, ISSN versión electrónica: 1025-3076. Cuba.
159. Quezada, W. & Gallardo, I. (2014a). Obtención de extractos de plantas mucilaginosas para la clarificación de jugos de caña". **Revista Tecnología Química**. Vol. 34, núm. 2, pp. 91-98, mayo-agosto, ISSN: 2224-6185. Cuba.
160. Quezada, W. & Gallardo, I. (2014b). Clarificación del jugo de caña mediante el empleo de plantas mucilaginosas". **Revista ICIDCA**, Vol. 48, No. ISSN: versión impresa: 0138-6204, ISSN versión electrónica: 1025-3076. Cuba.
161. Quintana, L. E. et al. (2006). Escalamiento del proceso de secado de bagazo de caña. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 5, núm. Su1. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México, pp. 57-66.
162. Quizanga, P. F (2009). Diseño del plan y documentación para la implementación de buenas prácticas de manufactura para la elaboración de panela granulada en la planta INGAPI. Tesis para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Quito. Ecuador.
163. Reay, D; Ramshaw, C. & Harvey, A. (2009). Process intensification. *Engineering for Efficiency, Sustainability and Flexibility*. Book of IChemE.
164. RENAPRA; ANMAT & OPS. (2012). Portafolio educativo en temas clave en control de la inocuidad de los alimentos. La gestión del conocimiento en red. Buenas prácticas aplicadas a los alimentos.
165. Rein Peter (2007). Cane Sugar Engineering. High efficiency. Low solutions. BOSCH. Berlin. Germany, p.224- 539-549.
166. Ribeaux, G. (2011). Efecto de un campo magnético estático sobre la cristalización de la sacarosa en solución. Universidad de Oriente. Tesis Doctoral, Santiago de Cuba, Cuba.
167. Ríos, D et al. (2002). Aplicación de las ecuaciones alternativas utilizadas para representar el proceso de floculación como herramienta de apoyo en la operación de

- plantas potabilizadoras. Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.
168. Rivero C. & Torres C. (2000). Evaluación de mucílagos vegetales como agentes clarificantes del jugo de caña. Trabajo Especial. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. Barquisimeto, Venezuela, p. 113.
 169. Rodríguez, D. (2010). Acceso de productos agroalimentarios de América Latina y el Caribe a los mercados internacionales. La experiencia de las plataformas para la exportación. Año 5.
 170. Rodríguez, D. (2011). Propuesta de diversificación para el incremento de la competitividad y la reconversión de la UEB fábrica de azúcar Ciudad Caracas en el concepto de biorrefinería. Facultad de Química y Farmacia. Trabajo de Diploma. UVCL. Santa Clara-Cuba, p. 2- 60.
 171. Rodríguez, G. (2008). La agroindustria rural de la panela en Colombia. Roles, problemática y nuevos retos. CORPOICA. Colombia. <http://www.laagroindustriaruraldelapanelaenColombia.Rolesproblematicaynuevosretos.htm>.
 172. Rodríguez, G. A & Gottret, M. V. (2009). Aprendiendo del pasado para proyectarnos hacia el futuro: adopción e impacto de la tecnología de panela en la hoya del río Suárez y Cundinamarca (Colombia). Informe técnico. Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales, CIAT.
 173. Rodríguez, G.; García, H.; Rúa, Z. & Santacoloma, P. (2004). Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Servicio de Gestión, Comercialización y Finanzas Agrícolas (AGSF). FAO. Roma.
 174. Rodríguez, G.; Garcia, H; Rúa, Z. & Santacoloma, P. (2007). Panela production as a strategy for diversifying incomes in rural area of Latin America. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome.
 175. Rodríguez, J.I. (2006). Buenas prácticas de gestión. IAT - Instituto Andaluz de Tecnología
 176. Rojas, I. (2008). Escalamiento de un secador de bagazo de caña de una planta piloto a nivel Industrial. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

177. Rojas, J. (1998). Manejo y Poscosecha del cultivo de caña panelera. Memorias de la primera capacitación a nivel regional. CORPOICA-ASCPAZUR-PRONATTA. Caquetá, Colombia.
178. Ronda Balbás, F. (2010). Química del color en los alimentos. Más química, mejor vida. Tecnología de Alimentos. Universidad de Valladolid. España. <http://recursos.crfptic.es:9080/jspui/bitstream/recursos/55/9/8%20Color%20alimentos.pdf>, pp. 51-67.
179. Rosero, J. (2010). Plan de negocios Asociación de Cañicultores Guachana. Fundación MCCH. Quito/Guachana – Ecuador.
180. Salager, Jean L. & Forgiarini de Guedez, A. (2007). Fundamentos de Flotación. [en línea]. FIRP. Laboratorio de formulación, interfaces Geología y procesos. Universidad de los Andes. Venezuela. 2007. <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/335a.pdf>
181. Sancho, F. (2010). La empresariedad agrícola y rural: conceptos para modelar el desarrollo. COMUNICCA. Año 5 Enero - Julio 2010.
182. Sandoval, G., (2004). Manejo de jugos, limpieza, clarificación, evaporación y concentración. CORPOICA-CIMPA. II Encuentro Internacional sobre la agroindustria panelera, Puyo, Ecuador.
183. Schwartz, (1994). Guidelines for industrial reconversion and restructuring *with application to Uruguay. Kellogg Institute. The Helen Kellogg Institute for International Studies.
184. Sengupta, J.K. (2011). Technology, Innovations and Growth. Jati K. Sengupta. ISBN: 978-0-230-28550-7. p. 23.
185. Sentmanat, José M. (2010). Clarifying Liquid Filtration. Chemical Engineering. October 2010, p. 38.
186. Sierra Oscar, (2004). Valor nutritivo de la caña de azúcar y sus subproductos en la alimentación animal.
187. Simon B.; Robert F.; Andreas G. & Henrik H. (2009). An industrial view of process intensification. Chemical Engineering and Processing 48 329-332.
188. Simons, S. (2007). Concepts of Chemical Engineering 4 Chemists. The Royal Society of Chemistry. ISBN-13: 978-0-85404-951-6 pp. 114-126-272-302.
189. Singh, J.; Salomon, S. & Kumar, D. (2013). Manufacturing Jaggery, a product of sugarcane, As Health food. Indian of Institute of Sugarcane Reseach, Lucknow. Agrotechnology. Reseach Article. India.

190. Spencer, M.B. (1967). Manual de Fabricación de Azúcar de Caña y Químicos Azucareros. Editorial John Wiley Sons, Inc.
191. Stankiewicz, A.I. & Moulijn, J.A. (2004) (Eds.): Re-engineering the chemical processing plant: process intensification, Marcel. Dekker, New York.
192. Stashenko, E. (2009). Aceites esenciales. CENIVAM. Universidad Industrial de Manisales. Colombia.
193. Talens Peiro, L.; Lombardi, L.; Villalba, G. & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment (LCA) and exergetic life cycle assessment (ELCA) of the production of biodiesel from used cooking oil (UCO). Elsevier Ltd. Energy 35 (2010) 889–893
194. Toro, G. (2009). Promoviendo la innovación para el desarrollo del sector agrícola de las Américas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). ISBN 13: 978-92-9248-233-6.
195. Towler, G. & Sinnott, R. (2008). Principles, Practice and Economics of Plant and process Design. Engineering the chemical processing. ELSEVIER. USA.
196. Tufiño, G. (2012). Desarrollo del sistema de control de compras y facturación de venta para la cooperativa de producción de panela COPROPAP. Escuela Politécnica Nacional. Tesis Ingeniero, Quito, Ecuador, p. 9
197. Velásquez, H. I.; Agudelo A. F. & Álvarez, J. I. (2005). Mejorando la producción de panela en Colombia. Vol. 21, Núm. 1, Junio 2005, Energía en la finca.
198. Velásquez, H. I.; Agudelo, A. F. & Álvarez, J. I. (2004). Diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia. Revista de Agroecología. Vol. 21, Num.1 Nov 2004. Energía en la finca.
199. Villalobos, V. (2010). El compromiso del IICA ante el nuevo paradigma en la agricultura de las Américas. COMUNICCA. Año 5 Enero - Julio 2010.
200. Villamizar, C. (1997). El progreso tecnológico y la competitividad bajo el enfoque de cadena agroalimentaria. II Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. CIMPA. Colombia, pp. 1-19.
201. Vizcaíno, D & Cortés, C. (2003). Caracterización del sector Agroindustrial Ecuatoriano. Proyecto alianzas público–privadas para la investigación agroindustrial. ISNAR. Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional. ISBN 92-9039-553 2.
202. Wiroon Tanthapanichakoon (2013). Accelerating Process and Product Development. Chemical Engineering. February 2013, p. 48.

203. Yañez, M; Joglar, F & Modarres, M. (2002). Generalized Renewal Process for Analysis of Repairable Systems with Limited failure experience. Reliability Engineering and System Safety Analysis Journal, ELSVIER, USA.
204. Yoplac, I. (2008). Efecto de alcalinizado y aglutinantes vegetales obtenidos a partir del “cadillo” y “balso” en las características físico químicas de la panela granulada. Tesis de Grado de Titulación, Chachapoyas.

ANEXOS

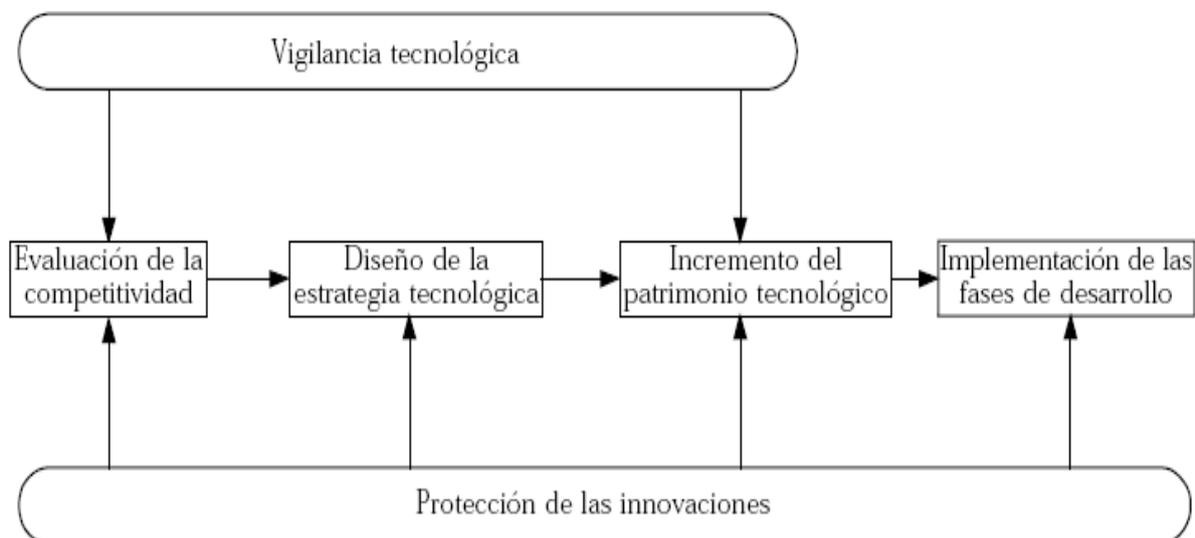
Anexo 1

Principales productores y consumidores de panela a nivel mundial.

Países	Producción (miles de toneladas)	Participación en el total (%)	Consumo (kg/persona/año)
India	7600	62,3	9,28
Colombia	1137	9,2	36,43
Pakistán	1040	8,5	9,29
Bangladesh	620	5,0	5,64
Tailandia	600	4,8	10,72
China	500	4,0	0,45
Brasil	240	1,9	1,63
Malasia	150	1,2	8,62
Haití	78	0,6	14,10
México	58	0,5	0,69
Otros países	373	3,0	

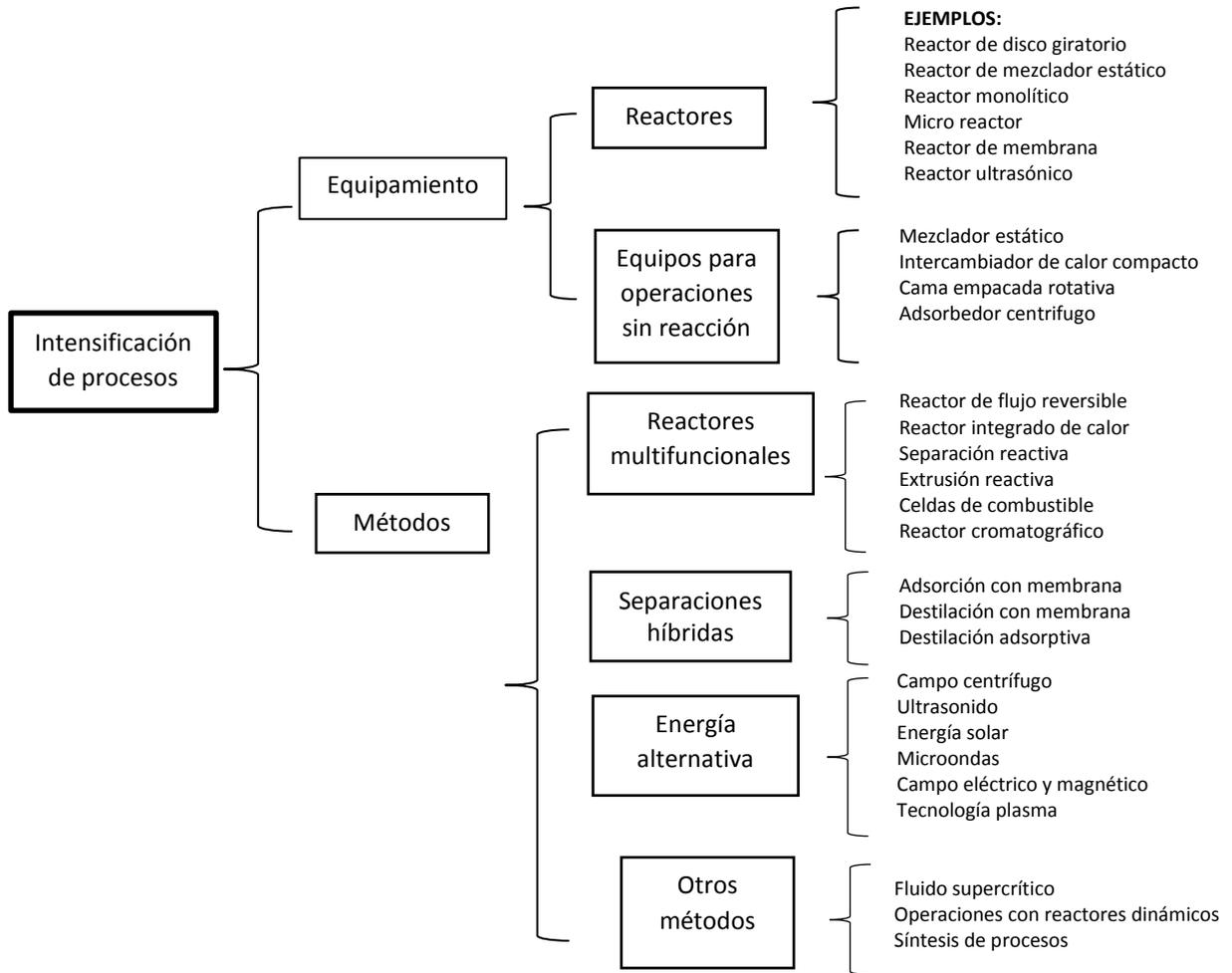
Anexo 2

Funciones del proceso de gestión tecnológica.



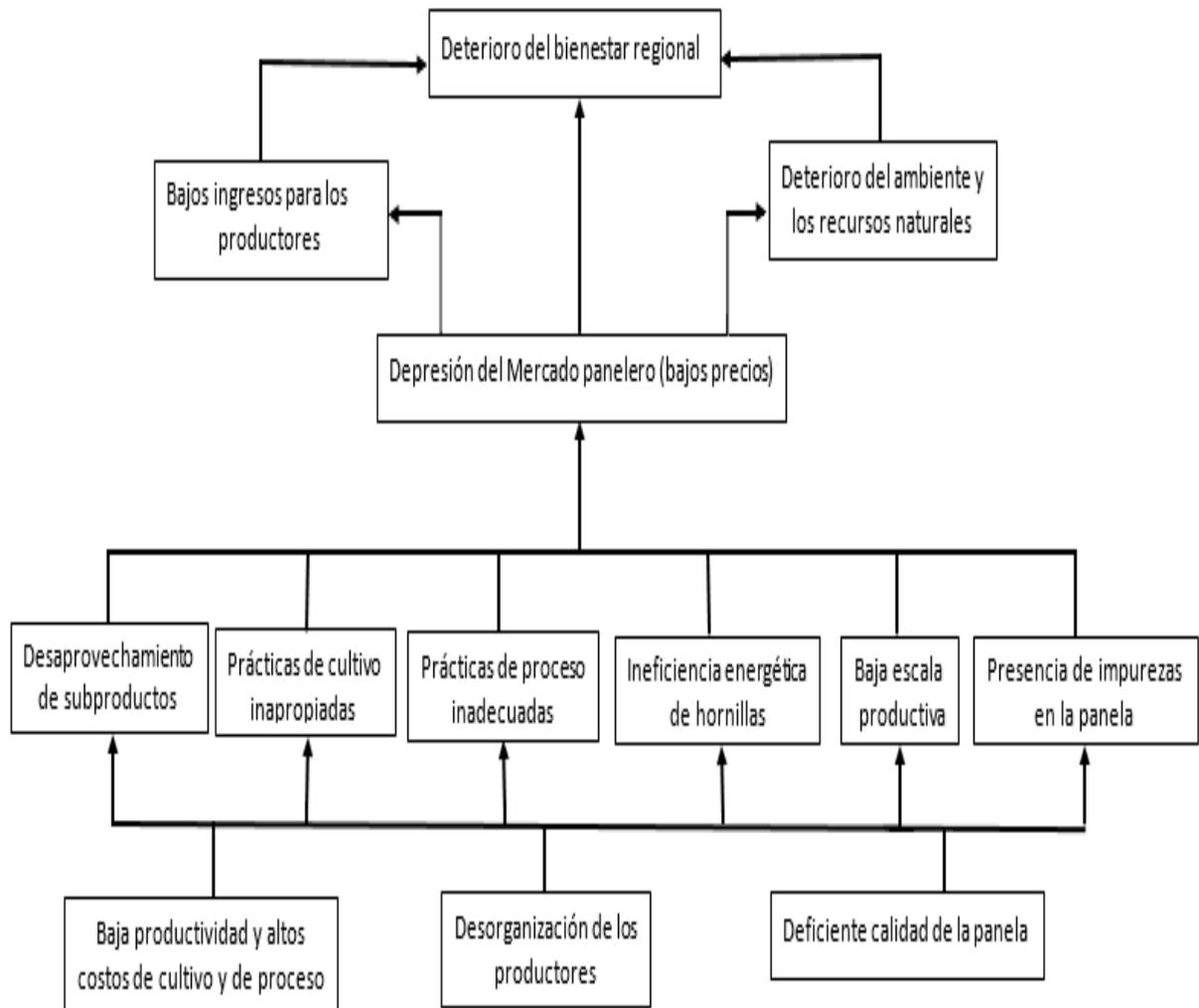
Anexo 3

Modelo de intensificación de procesos.



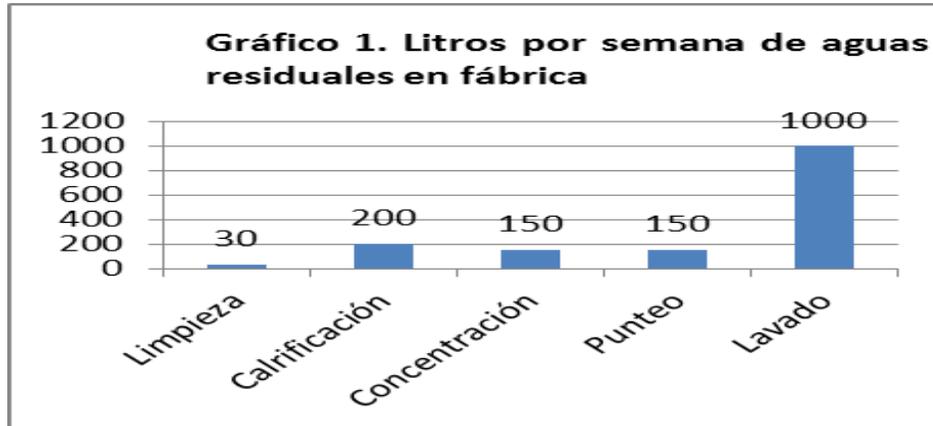
Anexo 4

Diagrama de la problemática en la agroindustria panelera en Ecuador.



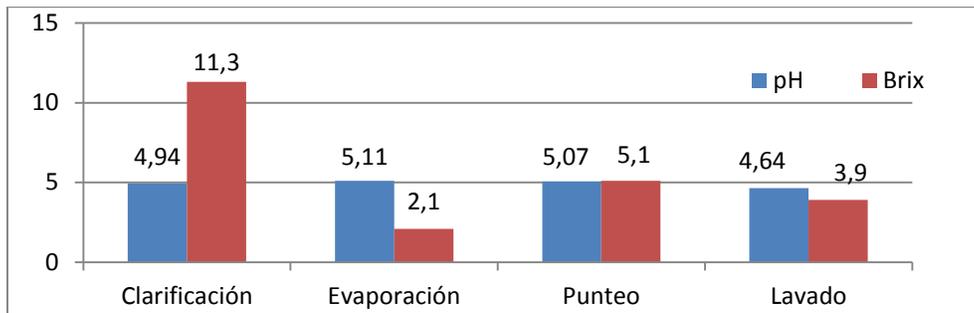
Anexo 5

Residuales líquidos generados en el proceso



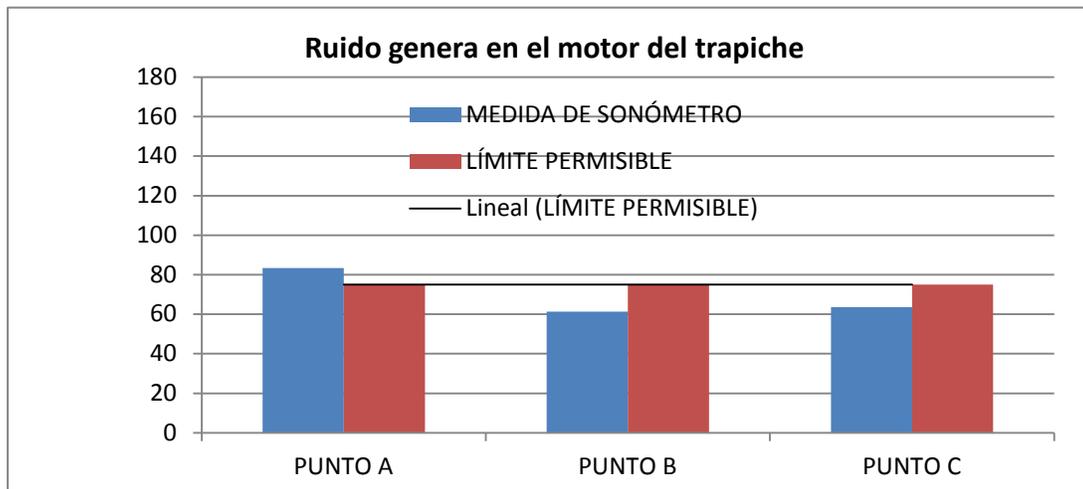
Anexo 5.1

Valores de pH y sólidos solubles en aguas residuales.



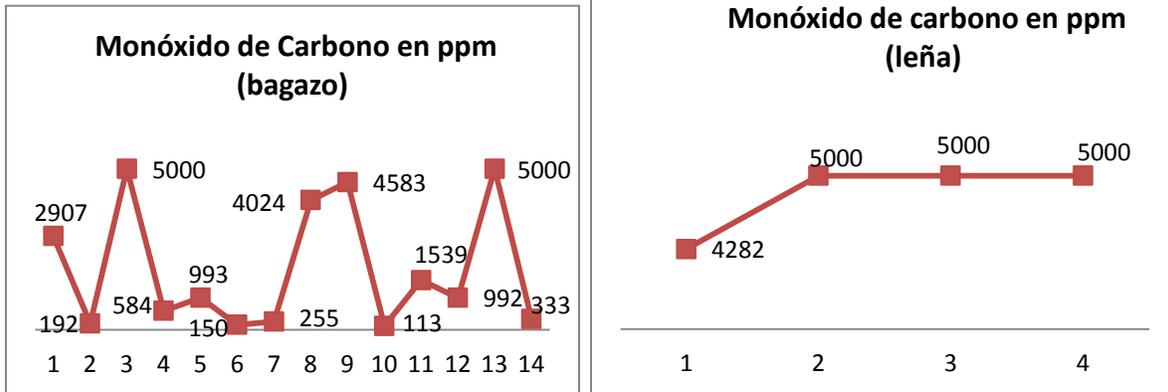
Anexo 5.2

Ruido generado en el motor



Anexo 5.3

Comportamiento del Monóxido de carbono según el tipo de combustible.



Anexo 5.4

Inventario del ACV para la producción de panela.

Principales entradas y salidas	Valores
ETAPA AGRÍCOLA	
H ₂ O superficial (m ³)	125
Terreno cultivo (ha)	0,2
Fábrica (m ²)	3000
Fertilizantes (gallinaza) (kg)	31,81
Preparación suelo (ha)	0,2
Siembra (ha)	0,2
Transporte (km)	100
ETAPA INDUSTRIAL	
Hidrosulfito de sodio (kg)	5
Carbonato de calcio (kg)	10
Bagazo (t)	8,8
Energía eléctrica (kw/mes)	1200
Combustibles motor diésel (L/d)	56,7
Distribución panela (km)	200
Panela kg/d	2311
Emisiones al agua	
Sólidos (kg)	71,6
Vertimientos al agua m ³ /d	0,226
Emisiones al aire	
PM10 (kg)	23960
CO ₂ biogénico (kg)	2396
NO (kg)	1843
CO ₂ fósil (kg)	152,52
CH ₄ (kg)	20,58
N ₂ O (kg)	1,23

Emisiones al suelo	
Cenizas (kg)	90
Cachaza (kg)	800

Anexo 6 Prelimpiadores

➤ Prelimpiadores



PRELIMPIADOR # 1

EMPRESA		Metalmecánica JM ESTRADA
Prelimpiador		# 1
Tipo		CIMPA
DIMENSIONES (mm.)	Largo	100
	Ancho profundidad	30 60
Material		Acero inoxidable
Precio (IVA incluido)		\$ 700.000
Teléfono		232 23 35
Dirección		Cra. 50. N. 40 – 05
PAGINA WEB		www.jmestradasa.com.co

Figura 23. Características prelimpiador.



PRELIMPIADOR # 2

EMPRESA		Metalmecánica JM ESTRADA
Prelimpiador		# 2
Tipo		CIMPA
DIMENSIONES (mm.)	Largo	175
	Ancho profundidad	35 30
Material		Acero inoxidable
Precio (IVA incluido)		\$ 800.000
Teléfono		232 23 35
Dirección		Cra. 50. N. 40 – 05
PAGINA WEB		www.jmestradasa.com.co

Figura 24. Características prelimpiador.

Anexo 7

Resultados de cribado fotoquímico cualitativo de plantas con propiedades mucilaginosas

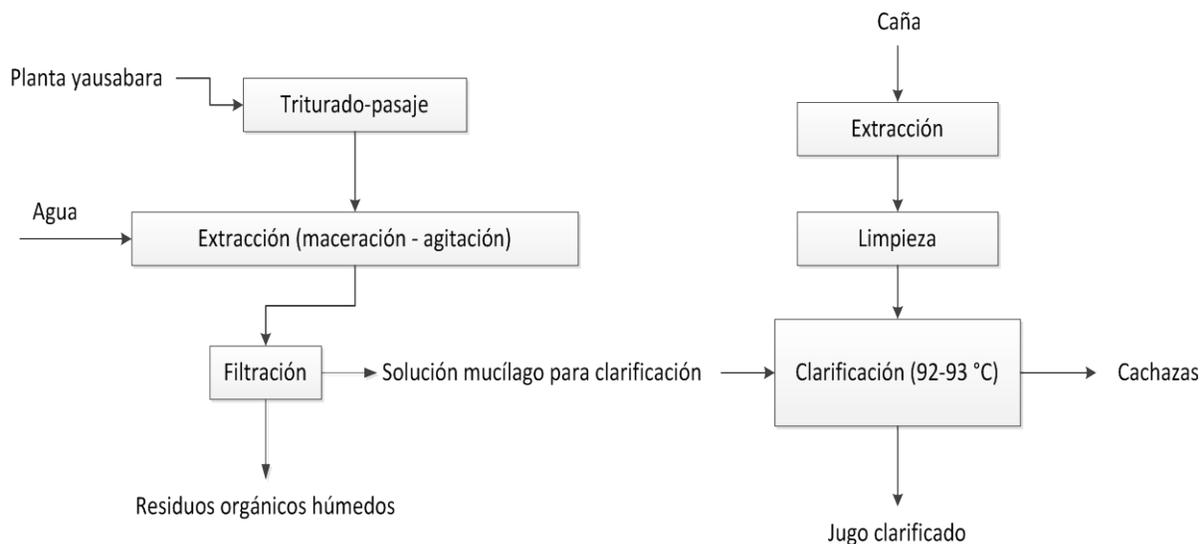
Nombre científico	Nombre Común	Alc	Sap	Tan	Flav	Tri	Est	Af	Ac
Basella alba	Uyanguilla (U)	-	+	+	-	-	-	-	-
Hibiscus rosa sinensis	Cucarda (C)	-	-	+	-	-	-	-	-
Malvaviscuspenduliflorus	Falso Joaquín (F)	-	-	-	-	-	-	-	-
Triumfetta lappula L	Cadillo negro (Cd)	-	-	-	-	-	-	-	-
Malva	Malva blanca (Mb)	-	-	-	-	-	-	-	-
Lavatera arbórea L	Malva rosada (Mr)	-	-	-	-	-	-	-	-
Malva peruviana L	Malva monte (Mm)	-	-	+	-	-	-	-	-
Eliocarpus americanus L.	Balso blanco (Bb)	-	+	-	-	-	-	-	-
Ochrorhiza pyramidale	Balso rojo (Br)	-	+	-	-	-	-	-	-
Byttneria ovata Lam	Abrojo (A)	-	-	+	-	+	-	-	-
Pavonia sepium A. St-Hil	Yausabara (Y)	-	-	+	-	-	-	-	-
Saurauia bullosa Wawra	Moquillo (M)	-	-	+	-	+	-	-	-
Calystegia soldanella	Nieve (N)	-	-	+	-	-	-	-	-
Abutilon insigne Planch	Yausa (P)	-	+	+	-	+	-	-	-

Alc= alcaloides, Sap= saponinas, Tan=taninos, Flav=flavonoides, Tri=triterpenos, Est=esteroides, Af=aceites fijos y Ac=aceites esenciales

Análisis realizado en laboratorios de la Universidad Católica del Ecuador, sede Ibarra.

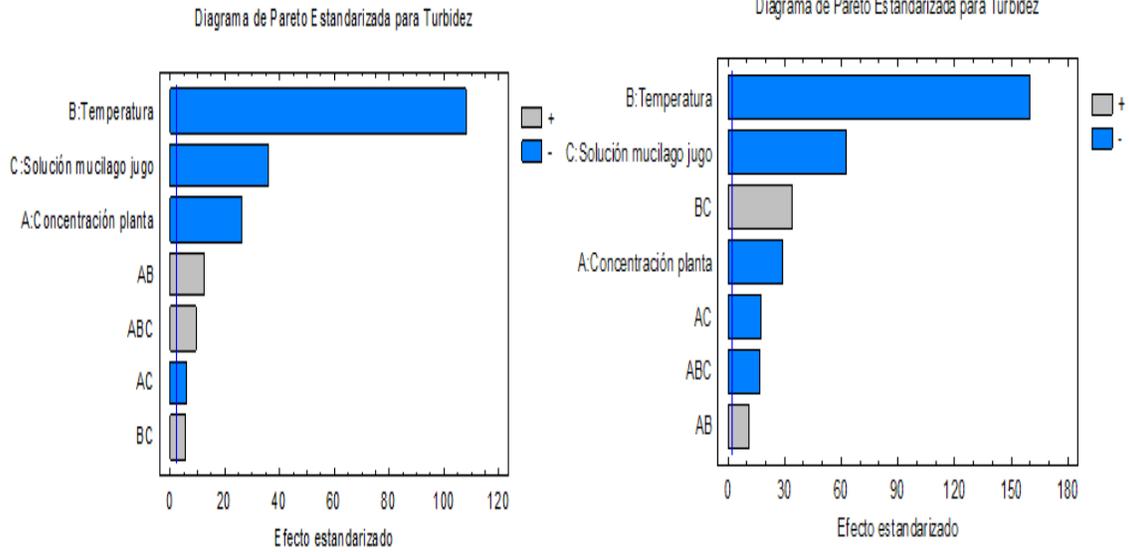
Anexo 7.1

Etapa de obtención de la solución mucilaginosa y la clarificación

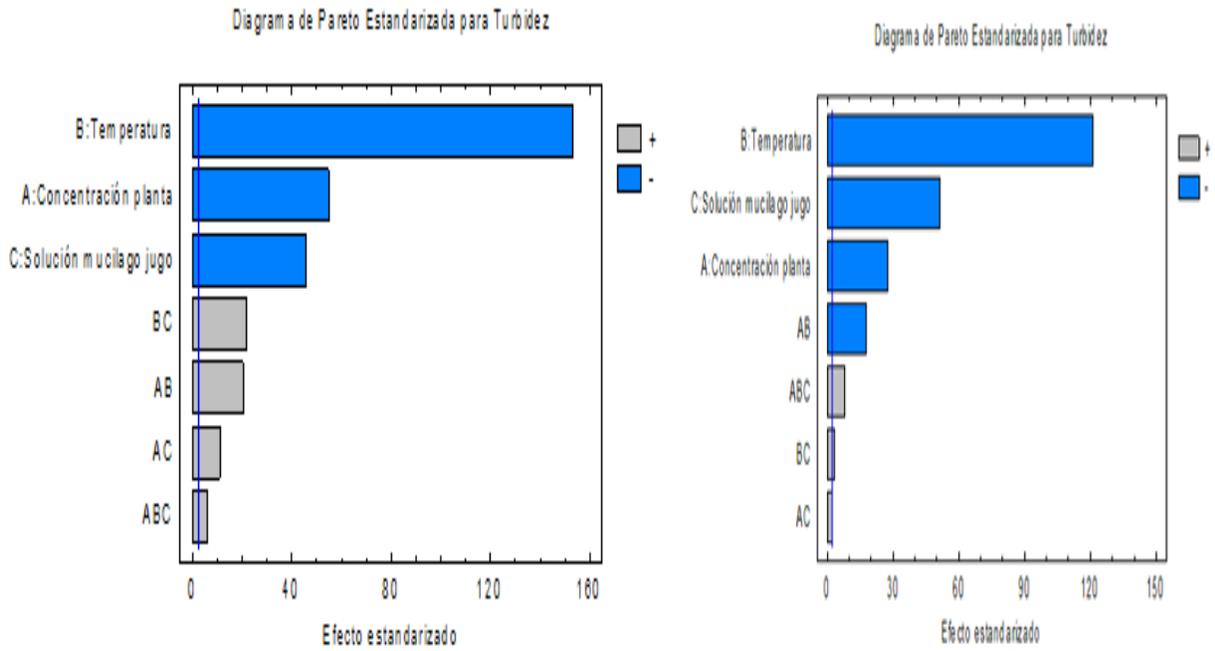


Anexo 8

Diagramas de turbidez plantas clarificadores

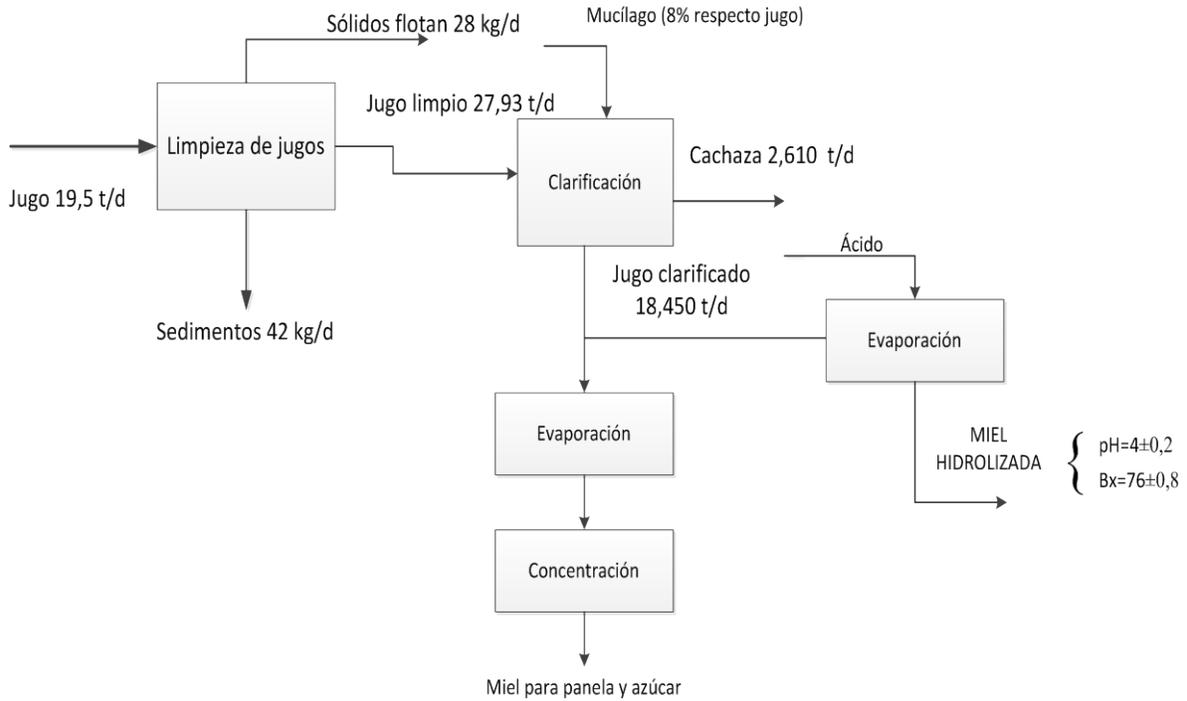


Comportamiento de la Yausabara y Yausa en la variable turbidez



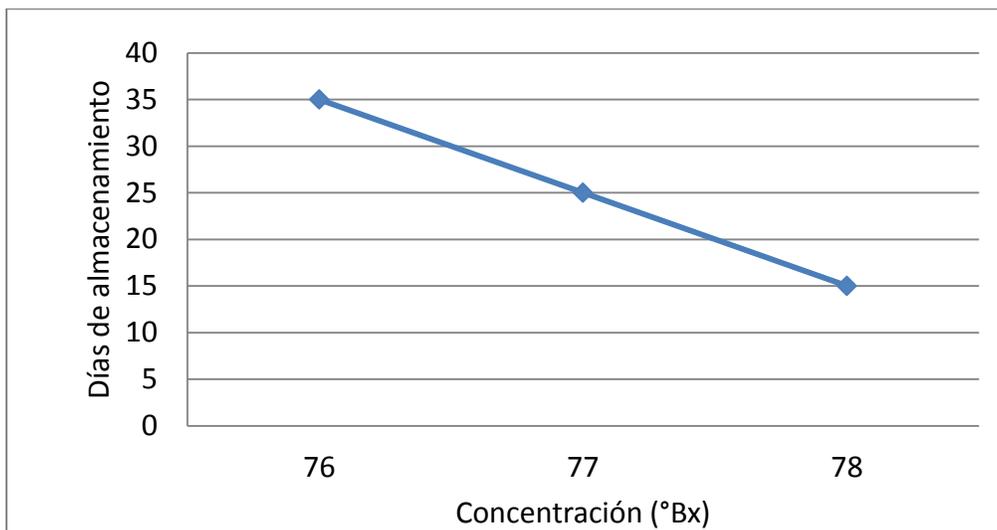
Comportamiento del cadillo y falso Joaquín en la variable turbidez.

Anexo 9 Esquema de producción de miel hidrolizada



Anexo 9.1

Cristalización de la miel hidrolizada a pH superior 4,2.

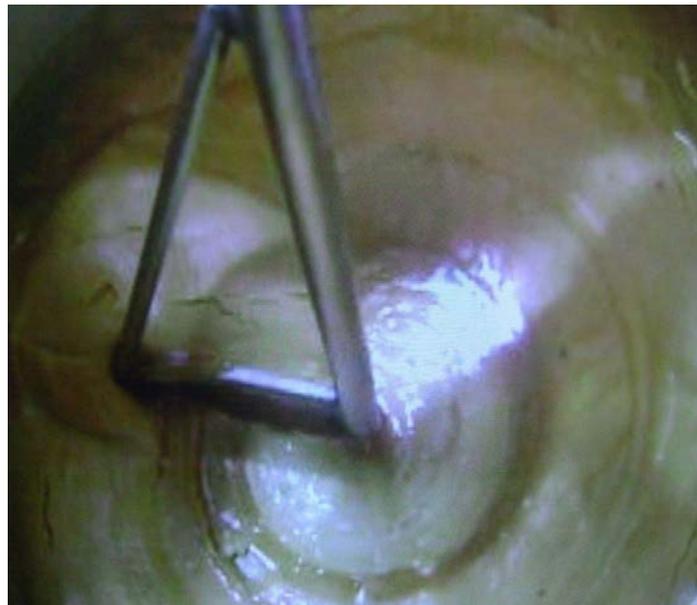


Anexo 9.2
Foto de la miel hidrolizada



Anexo 10

Equipo utilizado para el batido de miel



Anexo 11
Secador de bandejas de la empresa Gaedenia, tamizado y triturado

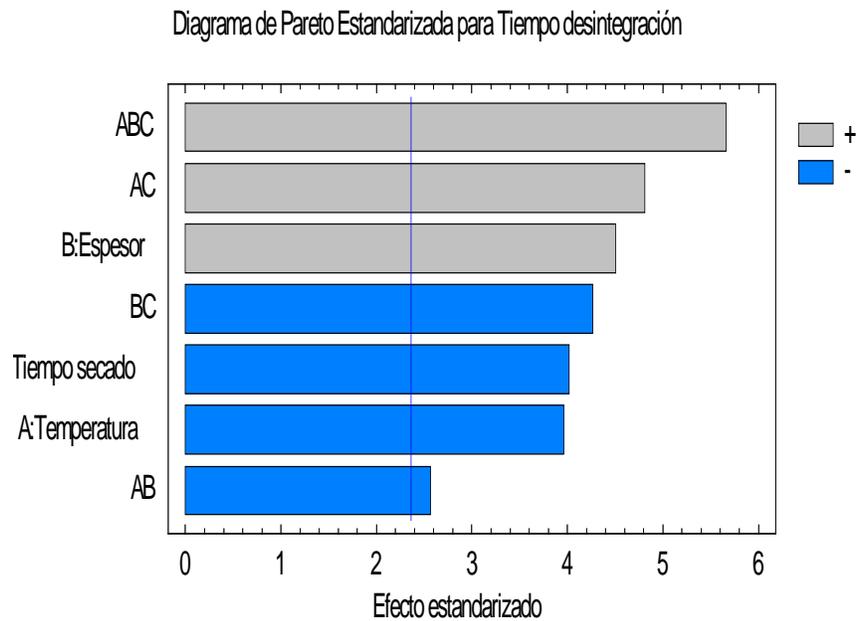
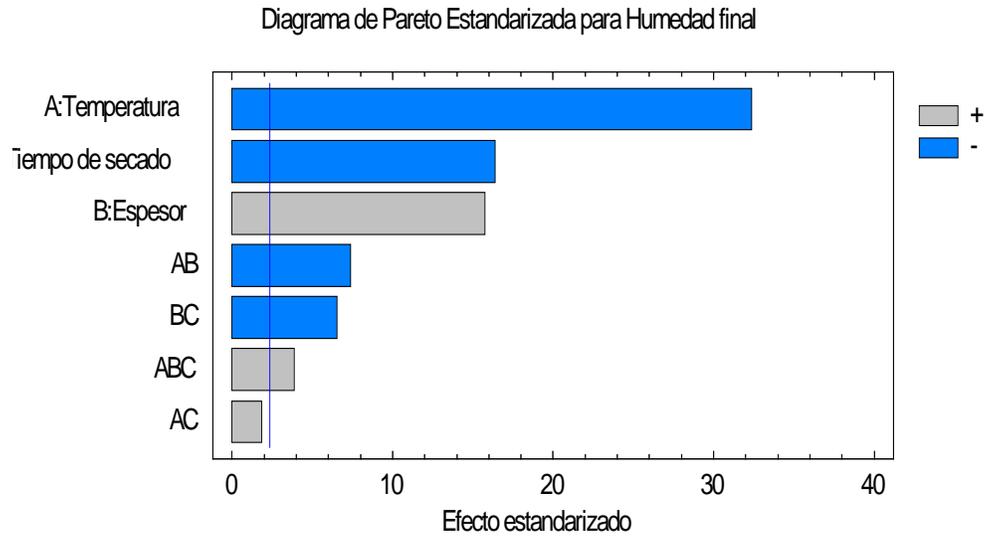


Triturado de conglomerados



Anexo 12

Diagramas de Pareto para la humedad final y el tiempo de desintegración del conglomero.



Anexo 13

Foto del equipo medidor del color



Los resultados de los colores captados en las muestras, se resumen en las imágenes de la figura de los tres productos, como ejemplo modelo.

Color miel en envase

Color miel sin envase

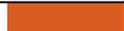
Color panela

Color azúcar natural

Visualización 3D, del color captado en los productos.

Anexo 13.1

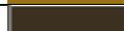
Valoración de color y azufre en la miel hidrolizada.

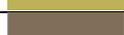
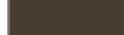
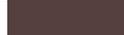
Código	Color	SO ₄ ⁼ ppm	Nombre del color	Cie		
				L*	a*	b*
M1		0	Anaranjado rojizo profundo*	60,2	47,6	64
M2		0	Anaranjado rojizo vivo*	44,6	40,1	48
M3		0	Anaranjado rojizo fuerte*	59,7	42,6	50,8
M4		0	Amarillo anaranjado fuerte**	74	20,9	73,7
M5		0	Amarillo fuerte**	73,7	8	64,2
M6		149	Amarillo verdoso fuerte	72,8	-5	64,9
M7		150	Amarillo verdoso brillante	88,5	-5,3	68,8
M8		156	Amarillo verdoso vivo	82,8	-3,8	81,5
M9		172	Amarillo verdoso claro	89,5	-4,6	52,4
M10		0	Marrón moderado	37,3	12	21
M11		0	Marrón grisáceo oscuro	22,3	4,4	6,6

*Miel natural en envase. **Miel natural sin envase.

Anexo 13.2

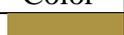
Valoración del color y azufre en la panela.

Código	Color	SO ₄ ⁼ ppm	Nombre del color	Cie		
				L*	a*	b*
P1		133	Marrón oliva claro	51	10,8	52,5
P2		125	Amarillo Oliva Claro	51	10,8	52,5
P3		201	Marrón Oliva oscuro	21,3	3,1	12,4
P4		226	Oliva Claro	52,2	-1,3	39,4
P5		63	Amarillo Grisáceo oscuro	60,3	3,7	28,1
P6		172	Marrón oliva moderado	37,8	7,2	35,3
P7		61	Amarillo moderado	72,6	6	45,5
P8		0	Amarillo anaranjado oscuro	62,8	15,3	50,4
P9		52	Amarillo anaranjado profundo	63,1	20,9	70,2
P10		68	Amarillo anaranjado brillante	83,7	17	66,3
P11		59	Amarillo anaranjado fuerte	74	20,9	73,7
P12		0	Amarillo fuerte	73,7	8	64,2
P13		0	Amarillo profundo	61	8,6	62,2
P14		0	Amarillo oscuro	61,7	5,4	44,6
P15		0	Marrón amarillento fuerte	49	16,6	52,1
P16		0	Anaranjado castaño	53,5	23,5	42,6

P17		0	Anaranjado brillante	74,5	33,4	65,6
P18		0	Anaranjado rojizo moderado	59,5	33,2	37,7
P19		0	Anaranjado rojizo profundo	44,6	40,1	48
P20		0	Anaranjado rojo vivo	60,2	47,6	64
P21		0	Rosa amarillento profundo	63	42,8	66,9
P22		0	Anaranjado rojizo oscuro	44,5	31,4	35,5
P23		0	Anaranjado rojizo profundo	60,2	47,6	64
P24		0	Anaranjado rojizo vivo	44,6	40,1	48
P25		249	Amarillo Claro	89,3	4,2	50,6
P26		216	Amarillo verdoso fuerte	72,8	-5	64,9
P27		224	Amarillo verdoso profundo	59,9	-3,6	63,4
P28		256	Amarillo verdoso brillante	88,5	-5,3	68,8
P29		258	Amarillo verdoso vivo	82,8	-3,8	81,5
P30		354	Amarillo verdoso claro	89,5	-4,6	52,4
P31		272	Amarillo verdoso moderado	72	3,1	45,9
P32		0	Marrón amarillento grisáceo	47,7	4,9	14
P33		0	Marrón Moderado	37,3	12	21
P34		0	Marrón Fuerte	38,2	22,7	38,7
P35		0	Marrón anaranjado profundo	33,3	11	28,2
P36		0	Marrón amarillento moderado	46,1	8,2	25
P37		0	Marrón amarillento fuerte	49	16,6	52,1
P38		0	Marrón anaranjado oscuro	25,2	7,7	18,1
P49		0	Marrón amarillento grisáceo oscuro	26,7	4,2	8,8
P40		0	Marrón grisáceo	36,5	6,5	9,7
P41		0	Rojo grisáceo	29,1	9,8	4,2
P42		0	Marrón rojizo grisáceo oscuro	22,7	7,9	5,9

Anexo 13.3

Valoración del color y azufre en el azúcar natural

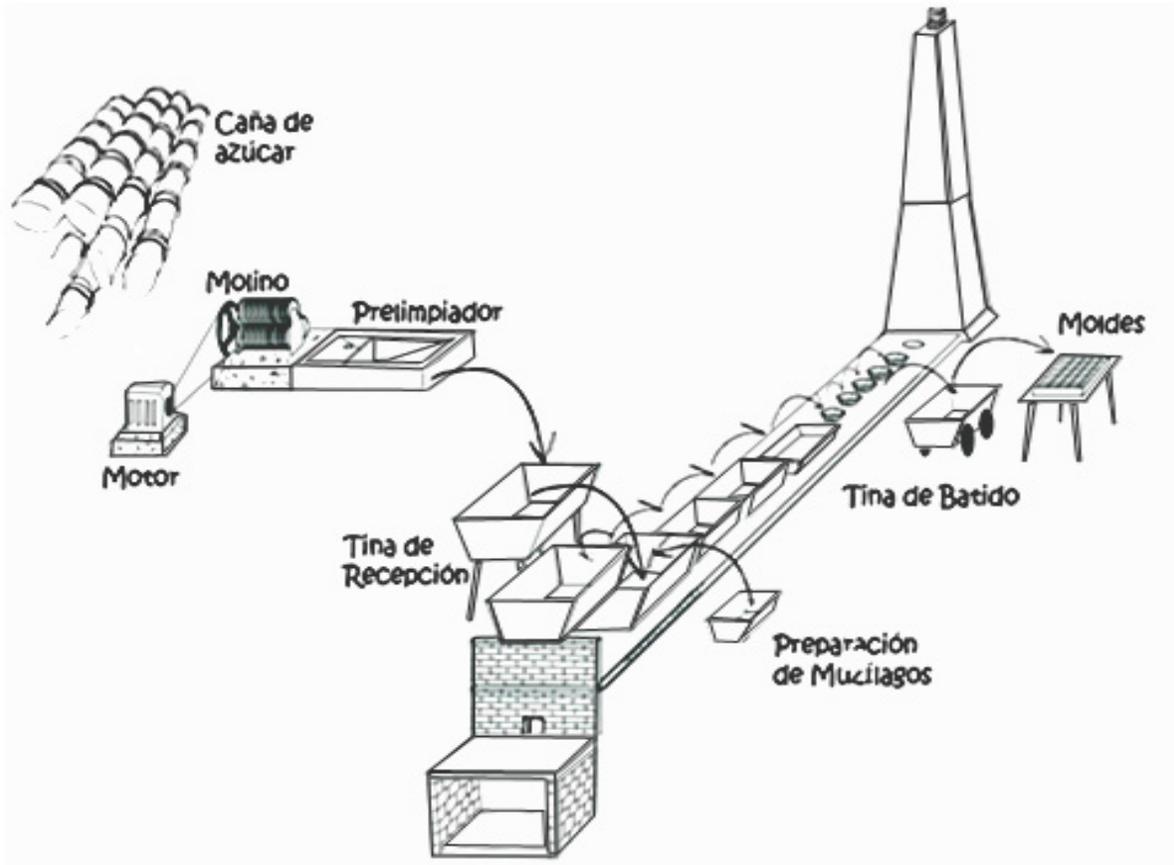
Código	Color	SO ₄ ⁼ ppm	Nombre	L	a	b
A1		44	Amarillo oscuro	61,7	5,4	44,6
A2		52	Amarillo moderado	72,6	6	45,5
A3		0	Amarillo profundo	61	8,6	62,2
A4		56	Amarillo fuerte	73,7	8	64,2
A5		0	Amarillo anaranjado fuerte	74	20,9	73,7
A6		0	Amarillo anaranjado vivo	76,5	23,3	81,8
A7		0	Amarillo grisáceo oscuro	60,3	3,7	28,1
A8		63	Amarillo grisáceo	73,2	3	28,1

A9		0	Marrón anaranjado profundo	33,3	11	28,2
A10		0	Marrón moderado	37,3	12	21
A11		0	Marrón amarillento moderado	46,1	8,2	25
A12		128	Amarillo oliva claro	51	10,8	52,5
A13		145	Marrón Oliva Moderado	37,8	7,2	35,3
A14		164	Amarillo verdoso grisáceo	72,7	-2,3	28,9
A15		173	Oliva claro	52,2	-1,3	39,4
A16		181	Oliva moderado	39,2	0,2	36,1
A17		208	Amarillo pálido	91	1,1	30,3
A18		180	Amarillo verdoso moderado	72	-3,1	45,9
A19		185	Amarillo verdoso fuerte	72,8	-5	64,9
A20		211	Amarillo verdoso profundo	59,9	-3,9	63,4
A21		221	Amarillo brillante	88,3	5,7	64
A22		175	Amarillo vivo	82	11	83,6
A23		185	Amarillo anaranjado brillante	83,7	17	66,3

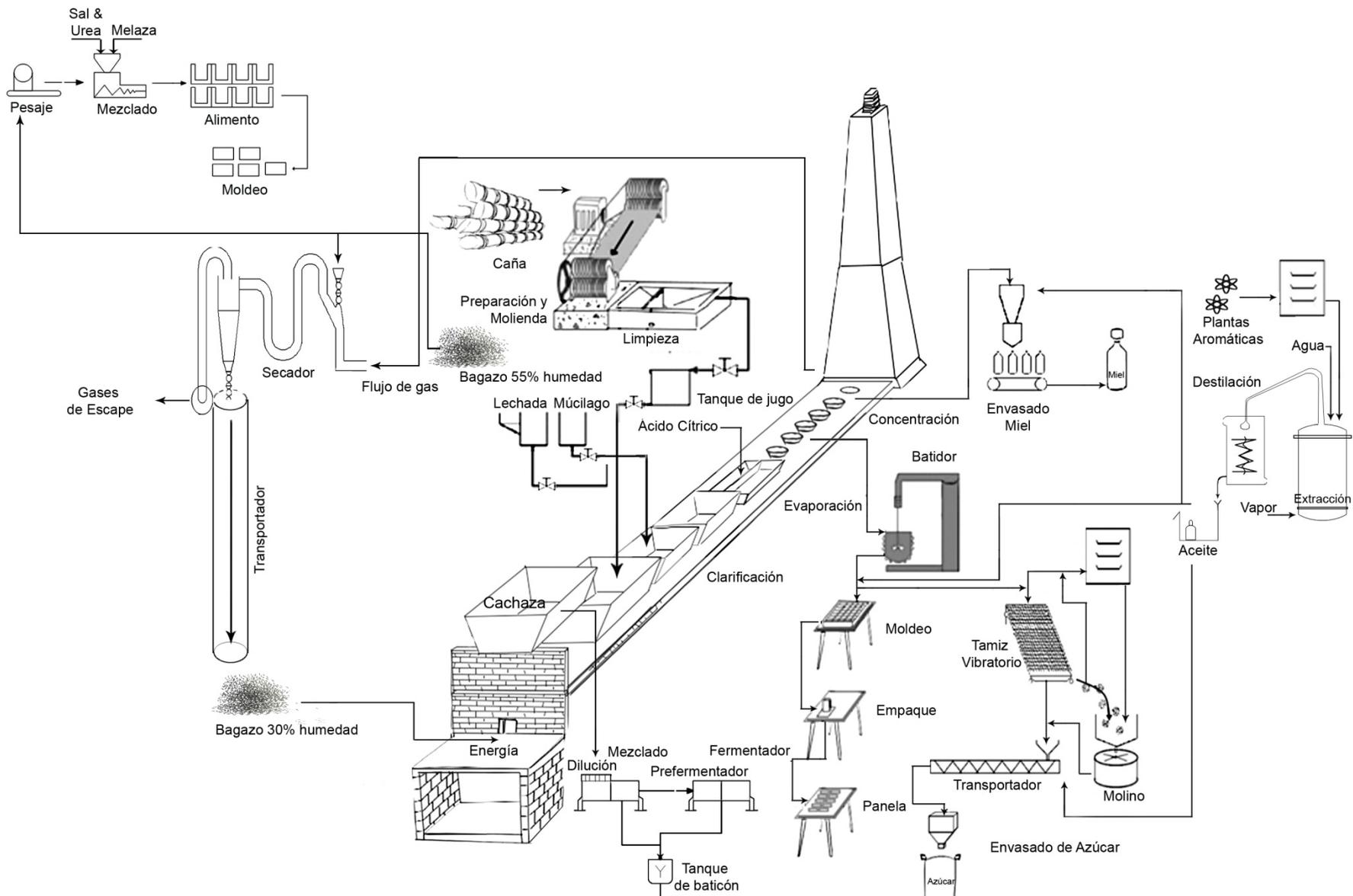
Anexo 14

Diagrama tecnológico de la planta actual y la propuesta de reconversión de la planta.

Planta actual

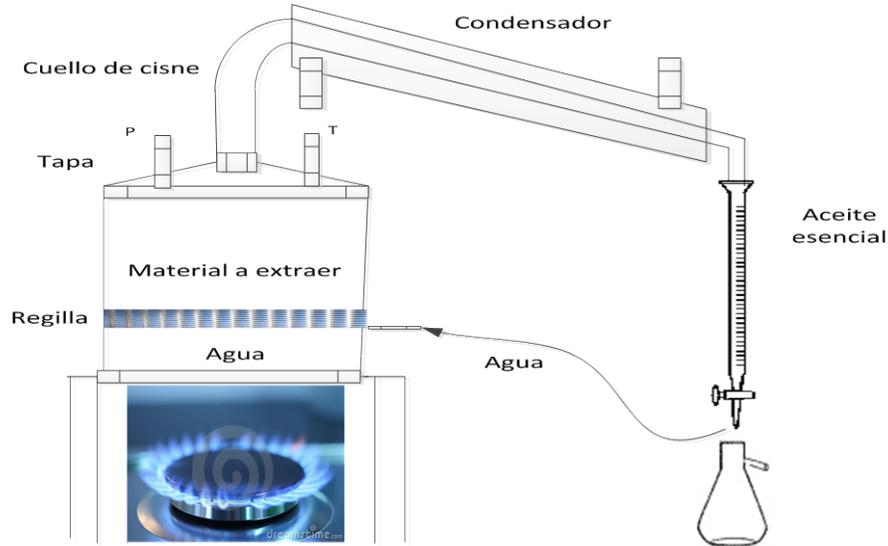


Planta reconvertida



Anexo 15

Equipo de extracción de aceites esenciales



Anexo 15.1

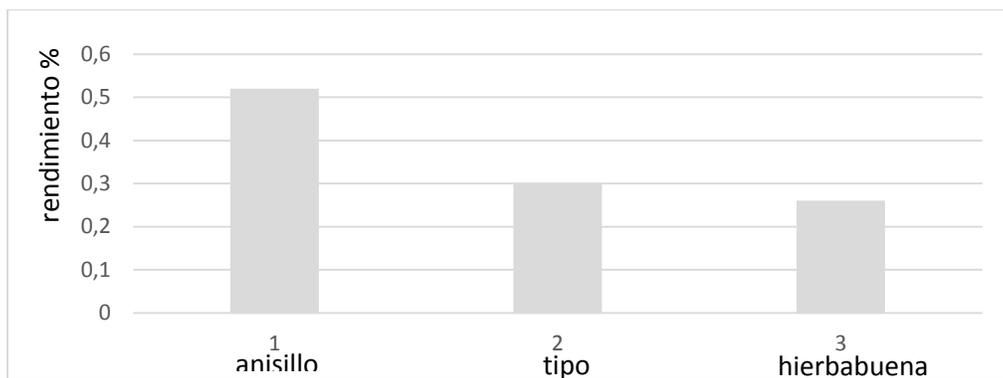
Rendimiento de aceite esencial

Muestra	Masa de muestra (g)	Humedad	Volumen de esencia (ml)	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio (%)
Anisillo	1000	40	5.2	0,52	0.52
Anisillo	600	35	3.2	0,53	
Anisillo	1000	45	4.5	0,45	
Anisillo	1000	40	5.4	0.54	
Anisillo	1000	45	5.6	0.56	
Tipo	1000	30	2	0,20	0.30
Tipo	1000	35	3.8	0,38	
Tipo	1100	40	4	0,36	
Tipo	250	30	0.8	0,32	
Tipo	1000	35	2.6	0,26	
Hierbabuena	850	30	2	0,23	0.26
Hierbabuena	1700	40	4.2	0,25	
Hierbabuena	1100	40	3.2	0,29	
Hierbabuena	1400	35	4	0,29	
Hierbabuena	1000	25	2.6	0,26	

Volumen de extracción.

Tiempo (minutos)	Volumen de aceite (ml)		
	ANISILLO	TIPO	HIERBABUENA
5	1.7	1.2	1.3
10	3	2,4	2.2
15	3.5	3,1	2.6
20	3.8	3,4	2,8
25	4	3,5	2,9
30	4.3	3,7	3
35	4.5	3,7	3.1
40	4.8	3,8	3,2
45	5	3,8	3,2
50	5.2	3,8	3,2
55	5.4	3.8	3.2
60	5.4	3,8	3.2

Rendimiento de aceites esenciales en las plantas estudiadas.



Anexo 15.2

Composición del aceite esencial de anisillo.

COLUMNA POLAR				
Nº pico	Tr	%	IK (cal)	Asignación
1	20,84	0,20	1510	cipereno
2	24,16	0,28	1581	Trans-cariofileno
3	28,00	24,52	1666	Estragol
4	29,21	2,69	1692	Germacreno D
5	30,26	1,37	1717	Biciclogermacreno
6	30,41	0,30	1720	Beta-bisaboleno
7	31,70	0,65	1750	Alfa-farnesene
8	34,85	68,02	1824	Anetol
9	36,68	0,90	1868	Carvacril acetato
10	39,20	0,38	1931	Desconocido
11	42,35	0,27	2011	Metil eugenol éter
12	49,82	0,40	2213	Desconocido
TOTAL*		99,22		

Dónde:

- Tr Tiempo de retención
 % Porcentaje del compuesto en la muestra
 Ik (cal) Índice de Kóvats calculado
 * Porcentaje de compuestos identificados en la columna polar

Composición del aceite esencial de tipo

COLUMNA POLAR				
Nº pico	Tr	%	IK (cal)	Asignación
1	6,21	1,12	1166	beta-mirceno
2	6,63	0,84	1180	alfa-tirpineno
3	7,26	6,69	1200	Limoneno
4	7,53	0,97	1207	beta-falandreno
5	8,64	0,93	1236	cis-ocimeno
6	8,95	5,37	1243	gamma-terpineno
7	9,28	2,48	1252	Trans-ocimeno
8	9,92	6,46	1268	Orto-cimeno
9	10,36	0,29	1280	Alfa-terpinoleno
10	11,23	0,20	1302	Desconocido
11	18,09	1,86	1451	Alfa-cubebeno
12	18,56	0,28	1461	Trans-hidrato de sabineno
13	19,35	0,89	1478	Mentone
14	19,49	1,69	1481	Alpha-copaeno
15	21,50	0,56	1524	3-menthene
16	21,75	2,36	1529	Beta-cubebeno
17	22,79	2,23	1551	Lanalool L
18	24,26	10,05	1583	Trans-cariofillene
19	26,35	0,46	1629	Pulegona

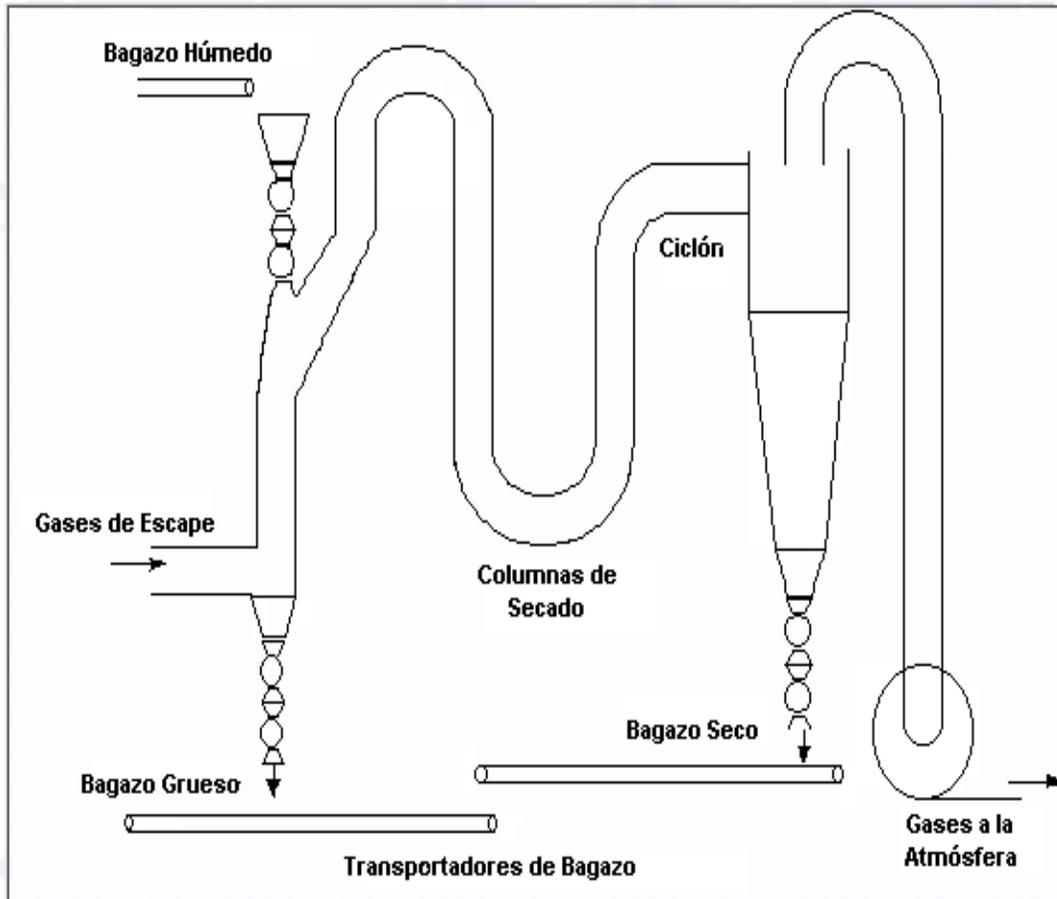
20	26,49	0,30	1632	Desconocido
21	26,86	0,36	1640	Desconocido
22	27,39	1,92	1652	Alpha-humuleno
23	28,59	0,71	1679	(-)-mirtenil acetato
24	29,25	9,46	1693	Germacreno D
25	30,29	5,33	1717	Biciclogermacreno
26	30,64	1,04	1725	Acetato de berilo
27	31,49	1,00	1745	Delta-cadineno
28	31,64	0,23	1749	Alfa-farneseno
29	31,98	0,98	1757	Acetato de geranilo
30	32,34	1,11	1765	Desconocido
31	32,44	0,29	1767	Beta-citronelol
32	33,76	0,38	1798	Nerol
33	35,80	0,86	1847	Acetato de timilo
34	36,24	1,15	1858	Desconocido
35	36,77	18,95	1871	Acetato de carvacrilo
36	39,05	0,48	1927	Desconocido
37	40,17	0,20	1955	Cariofileno oxido
38	41,83	0,24	1997	Desconocido
39	44,30	0,23	2062	Desconocido
40	46,01	1,09	2108	(+) spatulenol
41	48,91	0,39	2187	Timol
42	49,83	7,60	2213	Carvacrol
TOTAL*		95,95		

Composición del aceite esencial de hierbabuena

COLUMNA POLAR				
Nº pico	Tr	%	IK (cal)	Asignación
1	6,24	1,38	1167	Beta-mirceno
2	7,29	7,25	1201	Limoneno
3	7,50	2,54	1206	1,8-cineol
4	8,67	1,60	1236	Cis-ocimeno
5	9,29	0,42	1252	Trans-ocimeno
6	13,78	0,20	1358	Desconocido
7	19,33	0,23	1477	Citronela
8	19,48	0,43	1481	Alpha-copaeno
9	20,71	2,26	1507	Beta-bourboneno
10	21,19	0,57	1517	Alpha-gurjuneno
11	22,78	0,40	1551	Linalool L
12	23,18	0,53	1560	Beta-cubebene
13	24,20	3,15	1582	Trans-cariofileno
14	24,77	0,59	1594	Cis-dihidrocarvone
15	26,19	1,66	1625	Gamma-muuroleno
16	27,40	0,31	1652	alpha-humuleno
17	27,56	2,29	1656	(+)-epi-biciclosesquifelandreno
18	27,92	4,99	1664	Estragol
19	28,17	0,29	1669	Trans-beta-farneseno
20	28,32	0,27	1673	Peral

21	29,31	8,81	1695	Germacreno D
22	30,50	36,53	1722	DL-carvona
23	31,46	1,97	1744	Dihidrocarveol
24	32,27	1,40	1763	Desconocido
25	32,87	0,34	1777	Alfa-cadineno
26	34,66	15,35	1819	Anetol
27	35,09	0,38	1830	(E)-carveol
28	36,33	0,47	1860	(Z)-carveol
29	36,68	0,24	1868	Carvacril acetato
30	43,31	0,36	2036	Germacreno D-4-ol
31	43,51	0,84	2041	Desconocido
32	44,43	0,50	2066	Viridiflorol
33	52,99	0,37	2304	Desconocido
34	63,33	0,64	2565	fitol

Anexo 16
Secador neumático.



Secador de bagazo de transporte neumático.

Anexo 16.1

Composición del bagazo

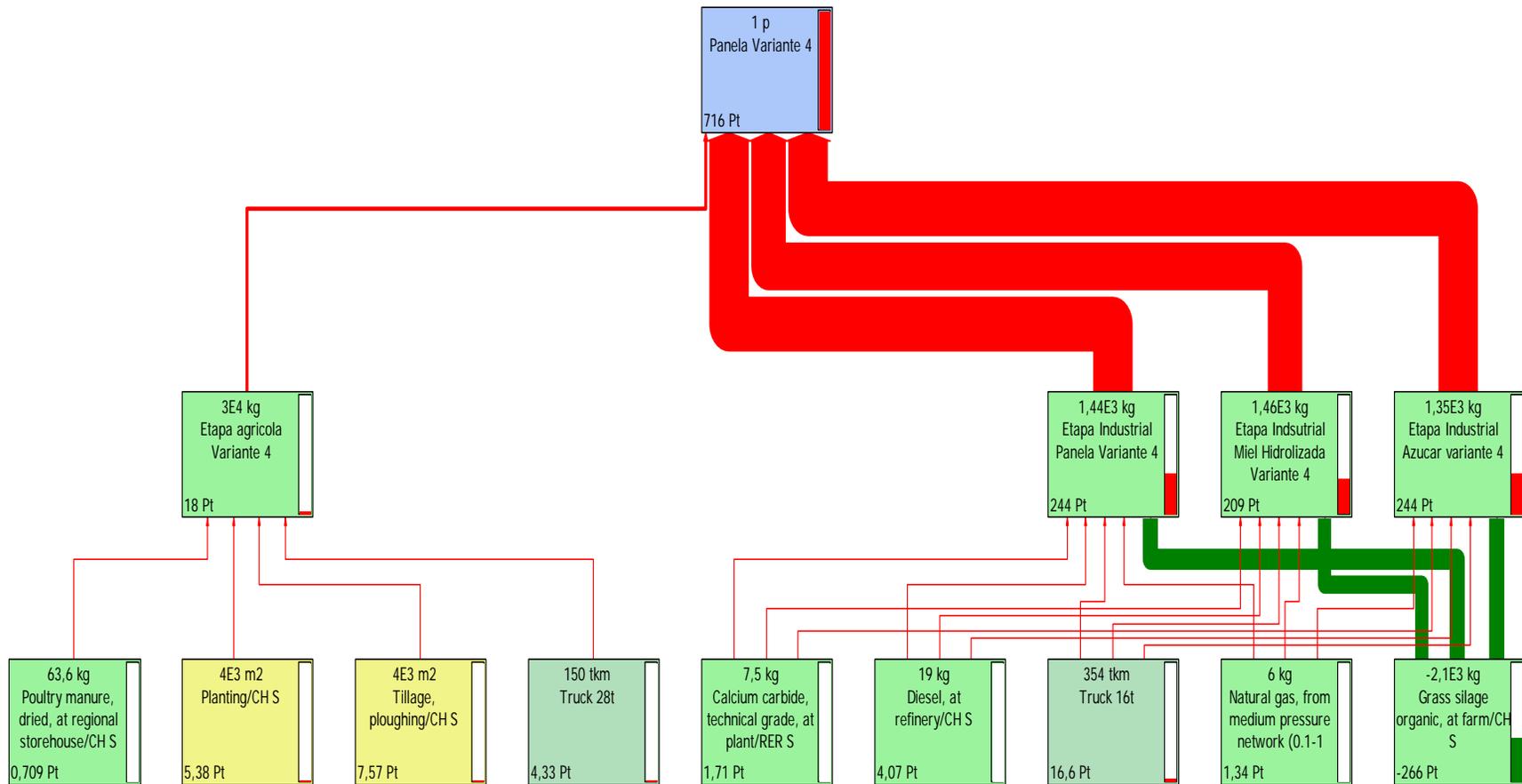
Componente	Bagazo húmedo	Bagazo seco
Humedad (%)	55	30
Azúcar (%)	2	5
Impurezas (%)	2	2,6
Fibra (%)	46	59,8
Valor calórico neto (kcal/kg)	1800	2816

Composición del gas secante

Compuestos	%
CO_2	13,6929
CO	13,6929
SO_2	0,0146
C_6H_8	0,1475
O_2	4,21321
H_2	13,914
CH_4	4,1247
N_2	39,497
H_2O	10,7

Anexo 17

ACV para la producción de miel hidrolizada, panela y azúcar natural



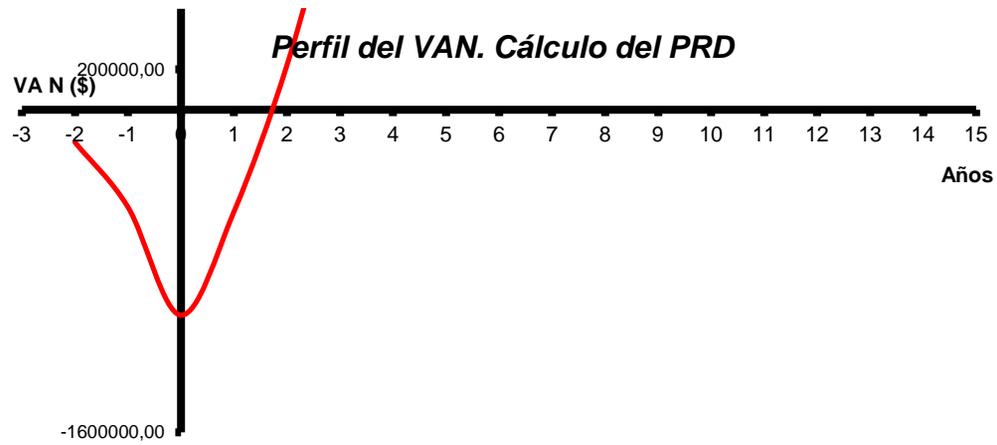
Anexo 18
Costos de equipos

Nombre	Cantidad	Costo total (USD)	
Dosificador-ensasador panela	1	3158.5	INDUMEI
Dosificador-ensasador panela miel	1	3037.0	INDUMEI
Equipo de pesaje-ensado	1	1457.8	INDUMEI
Batidor	1	6074.0	INDUMEI
Tamiz vibratorio	1	6608.6	FILTRA
Molino desintegrador	1	1822.2	AMAGA
Transportador tobogán	1	2125.9	INDUMEI
Deshidratador-acondicionador	2	12148.1	INDUMEI
Extractor de aceites	1	4251.8	INDUMEI
Atomizador industrial	1	668.1	INDUMEI
Tamiz	1	182.2	FILTRA
Mezclador sin fin	1	3644.4	INDUMEI
Moldeadora-compactador	1	2247.4	INDUMEI
Molino quebrantador de caña	1	7288.9	AMAGA
Motor	1	3644.4	AMAGA
Prelimpiador 1	1	850.4	JM ESTRADA
Prelimpiador 2	1	971.8	JM ESTRADA
Tanque receptor jugo crudo	1	7463.8	INDUMEI
Tanque solución mucílagos 350 L	1	722.8	INDUMEI
Tanque solución lechada 100 L	1	722.8	INDUMEI
Sistema agitación tanques solución	2	6924.4	INDUMEI
Banda transportadora	1	10919.9	INDUMEI
Desintegrador bagazo	1	1518.5	INDUMEI
Mejora infraestructura		15000.0	
Área almacén de caña		1000	
Secador neumático de bagazo	1	62430.63	

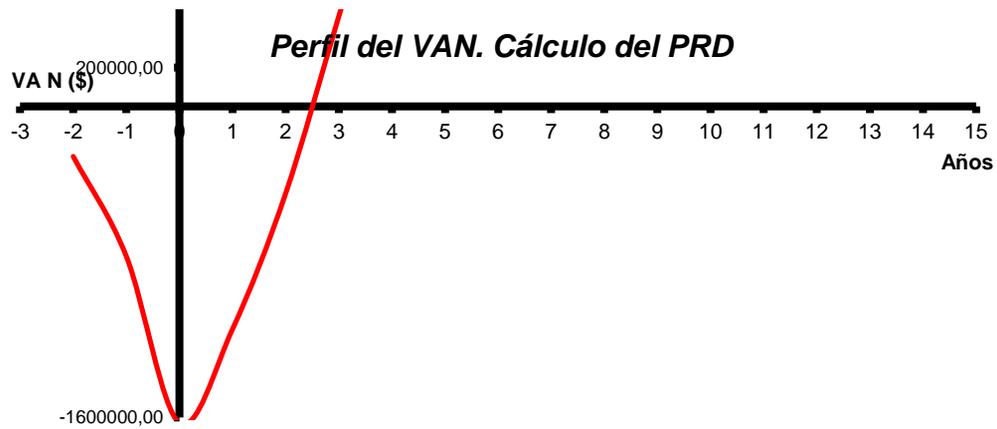
Anexo 19

Comportamiento del PRD de la panelera reconvertida de capacidad 30 t/d. Alternativa 4.

Secado Natural

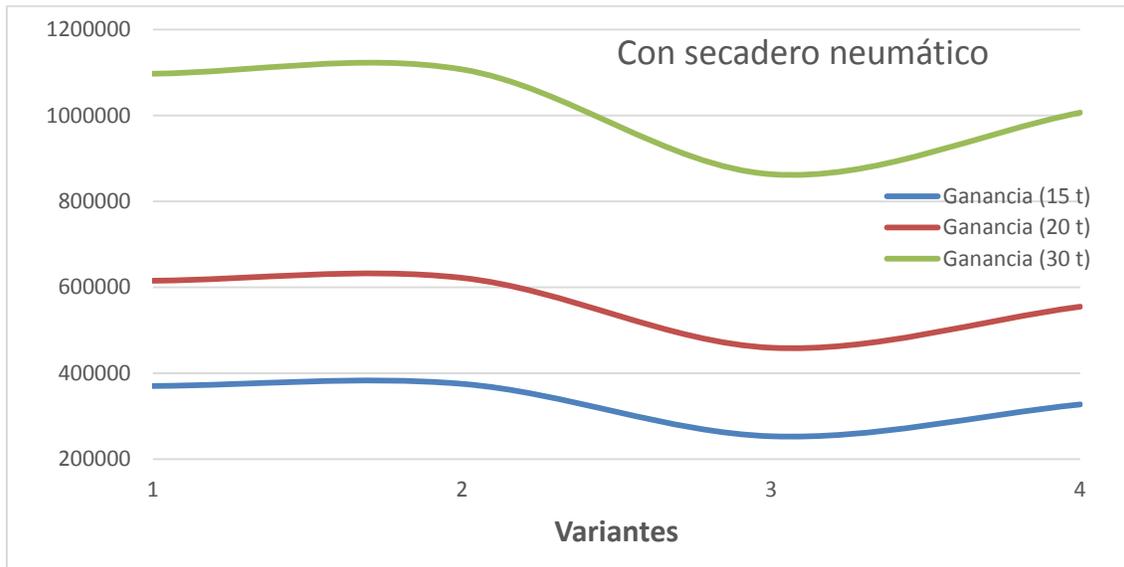
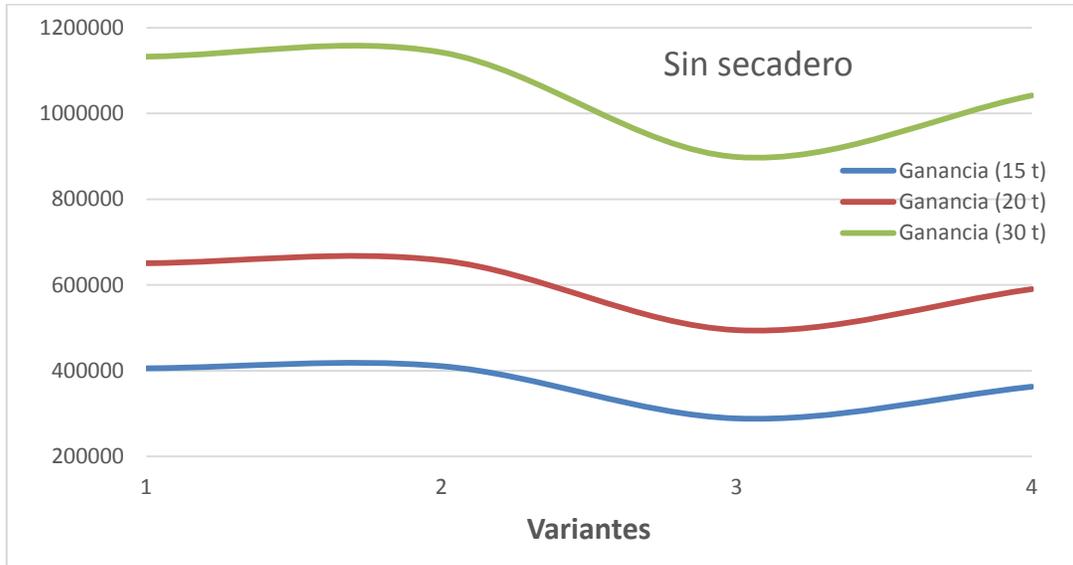


Secador Neumático.



Anexo 20

Comportamiento de las ganancias de la panelera reconvertida para las alternativas.



Anexo 21

Balance general de una panelera en condiciones actuales

Parámetro	unidad	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Caña	t	1	2	3	4	7	10	15	17	20	30
Sólidos solubles	Brix	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Extracción	%	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Bagazo (55% humedad)	kg	350	700	1050	1400	2450	3500	5250	5950	7000	10500
Jugo extraído	kg	650	1300	1950	2600	4550	6500	9750	11050	13000	19500
Cachaza (3,5%)	kg	35	70	105	140	245	350	525	595	700	1050
Jugo clarificado	kg	615	1230	1845	2460	4305	6150	9225	10455	12300	18450
Panela a 90°Bx	kg	150.33	300.67	410.00	601.33	1052.33	1503.33	2255.00	2555.67	3006.67	4510.00
Rendimiento	%	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80
Ingresos ventas 0,8 USD/kg	USD	120.27	240.53	328.00	481.07	841.87	1202.67	1804.00	2044.53	2405.33	3608.00
Personas involucradas	°N	8	10	10	13	15	15	18	18	22	25
Mano obra 340USD/mes	USD	90.64	113.3	113.3	147.29	169.95	169.95	203.94	203.94	249.26	283.25
Egresos caña 30 USD/t.	USD	30	60	90	120	210	300	450	510	600	900
Otros gastos (10% ingresos)	USD	18.04	36.08	49.20	72.16	126.28	180.40	270.60	306.68	360.80	541.20
Utilidad bruta	USD	-18.41	31.15	75.50	141.62	335.64	552.32	879.46	1023.91	1195.27	1883.55