

XVII. MANEJO DE JUGOS DE CAÑA Y ELABORACION DE PANELA DE BUENA CALIDAD

Albio E. Espinosa Safar*

1. CAÑA DE AZUCAR: MATERIA PRIMA EN LA ELABORACION DE PANELA

Es una gramínea del género *Saccharum*, originaria de Nueva Guinea, traída por Cristobal Colón a territorio americano hacia 1.502 y cultivada en zonas tropicales y subtropicales.

Su forma es erecta con tallos de 2 a 5 metros de altura y entrenudos pronunciados sobre los cuales se insertan las hojas, su reproducción es agámica y sus raíces muy ramificadas.

El tallo es cilíndrico con diámetro variable de 2 a 4 cm y dividido en nudos, las hojas son delgadas y están colocadas alternadamente. Consta de una parte exterior formada por la corteza, comúnmente cubierta de una capa de cera de grosor variable que contiene el material colorante, seguidamente se encuentra la porción interna constituida por el parénquima y paquetes fibrovasculares dispuestos longitudinalmente, terminando en hojas o yemas.

Su crecimiento y desarrollo depende de ciertos factores como luminosidad, temperatura, precipitación de lluvias, vientos y variedades.

1.1 Composición de la caña

La caña está constituida principalmente por agua, fibra y sólidos solubles (azúcares, especialmente). Tiene otros compuestos, que por las cantidades en que aparecen se consideran elementos menores. Tal es el caso de los minerales, proteínas, ceras, grasas y ácidos que pueden estar en forma libre o combinada.

En la Tabla 1 aparece la composición química promedio de la caña de azúcar de Luisiana, según Spencer y Meade (1).

Entre los sólidos solubles de la caña sobresale la sacarosa como azúcar principal; los otros azúcares que se encuentran en concentraciones sustanciales son la glucosa y la fructuosa, conocidos como azúcares reductores o invertidos. Los azúcares se clasifican químicamente como carbohidratos y se caracterizan por ser compuestos de carbono combinados con oxígeno e hidrógeno en las proporciones que se requieren para formar moléculas de agua.

1.1.1 Sacarosa

Es un disacárido producido por la condensación de glucosa y fructuosa. Tiene como fórmula empírica $C_{12}H_{22}O_{11}$ y peso molecular de 340,30 g/mol. Su estructura y configuración estereoquímica cuya representación espacial puede verse en la Figura 3.1, son las de α -D-glucopiranosil- β - D - Fructofuranosido.

* Químico, Investigador Cooperante del Programa Nacional de Maquinaria Agrícola y Poscosecha de CORPOICA - CIMPA, Barbosa - Santander. Correo electrónico: *cimpa@hotmail.com*

TABLA 1. Composición química promedio de la caña de azúcar.

COMPONENTES	CANTIDAD (%)
Agua	74,50
Fibra:	
Celulosa	5,50
Pentosanas	2,00
Arabán	0,50
Lignina, leñoso, etc.	2,00
Total Fibra	10,00
Azúcares:	
Sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	12,50
Glucosa ($C_6H_{12}O_6$)	0,90
Fructuosa ($C_6H_{12}O_6$)	0,60
Total Azúcares	14,00
Cenizas:	
Sílice (SiO_2)	0,25
Potasa (KOH)	0,12
Soda (NaOH)	0,01
Cal (CaO)	0,02
Magnesio (MgO)	0,01
Acido Fosfórico (H_3PO_4)	0,07
Acido Sulfúrico (H_2SO_4)	0,02
Hierro (Fe)	Trazas
Cloro (Cl)	Trazas
Total Cenizas	0,50
Compuestos nitrogenados:	
Albúminas	0,12
Amidas (Asparraguina)	0,07
Aminoácidos (Aspártico)	0,20
Acido Nítrico	0,01
Total Compuestos nitrogenados	0,40
Acidos y grasas:	
Grasa y cera	0,20
Pectina y gomas	0,20
Acidos libres	0,08
Acidos combinados	0,12
Total Acidos y grasas	0,60

1.1.1 Sacarosa

Es un disacárido producido por la condensación de glucosa y fructuosa. Tiene como fórmula empírica $C_{12}H_{22}O_{11}$ y peso molecular de 340,30 g/mol. Su estructura y configuración estereoquímica cuya

representación espacial puede verse en la Figura 3.1, son las de α-D-glucopiranosil- β - D - Fructofuronasido.

Los cristales tienen una densidad de 1,5879 g/cc a 15°C y muestran actividad óptica a lo largo de 2 de sus 3 ejes. Su temperatura de fusión es de 188°C pero se han reportado valores de 160-180°C producto del efecto de las trazas de impurezas sobre la sacarosa.

En solución este azúcar es dextrogiro con una rotación específica de $[α]^{20}_D + 66.53^\circ$ a una concentración de 26 g por 100 cc de agua. Es muy soluble en agua como casi todos los azúcares. Una solución saturada a 20°C contiene 67,09% por peso. No reduce los iones de cobre o de otros metales en soluciones alcalinas tales como las de Fehling, ya que ni el grupo reductor de aldosa ni el de cetosa está libre en la molécula del disacárido.

1.1.2 Glucosa (Dextrosa)

Monosacárido de fórmula empírica $C_6H_{12}O_6$ y peso molecular de 180,16 g/mol. Su estructura recibe la designación química de D-Glucopiranososa. Es una aldohexosa y se puede cristalizar del agua en las 2 formas en que se presenta: α y β, las cuales están en equilibrio en solución a temperaturas inferiores a 50°C. La α-D- Glucosa es la forma más estable y cristaliza en forma de monohidrato $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$.

La glucosa anhidra forma cristales romboidales que tienen un punto de fusión de 146°C mientras que el hidrato funde a 83°C. Es menos soluble en agua que la sacarosa; las soluciones saturadas contienen 49,4% a 23°C y 54,6% a 30°C en peso de azúcar anhidro.

Son fácilmente interconvertibles las formas α y β de la glucosa y sus soluciones muestran el mismo fenómeno de mutarrotación que la mayoría de las hexosas y pentosas simples.

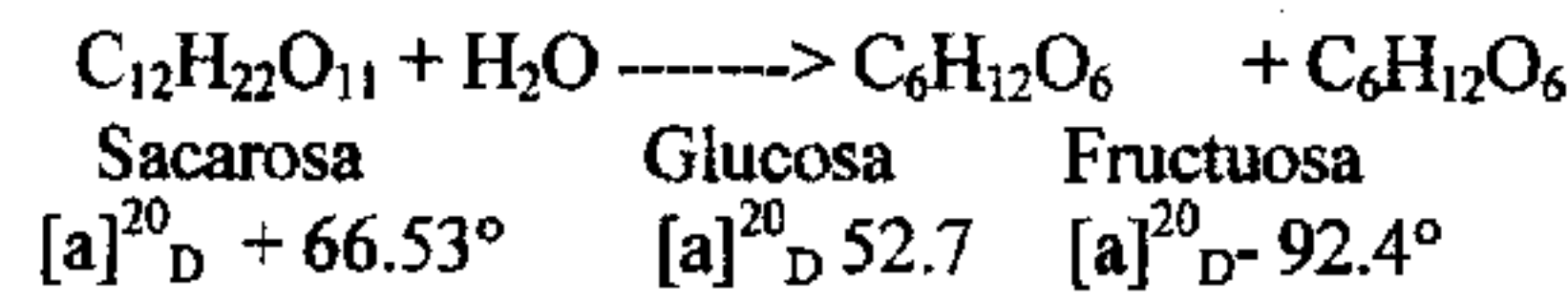
1.1.3 Fructuosa (Levulosa)

Tiene la misma fórmula empírica y peso molecular de la glucosa pero es una cetohehexosa, con el oxígeno fijado en el carbono 2 en lugar de estar en el carbono 1.

Su designación corriente de levulosa surgió de la actividad levógira de sus soluciones, pero la configuración de este monosacárido es la de una forma D y en la nomenclatura química precisa, este azúcar cristalizado corresponde a la forma α o a la β-D-Fructopiranososa. Es más soluble en agua que la glucosa y que la sacarosa, una solución saturada a 20°C contiene un 78,9% de fructuosa. La oxidan la mayoría de reactivos que se utilizan para la determinación de otros azúcares reductores. La fructuosa cristalina funde de 102 a 104°C.

Inversión

Por inversión se entiende la hidrólisis o rompimiento de la molécula de sacarosa (disacárido) en dos moléculas de cadena más corta: glucosa (dextrosa) y fructuosa (levulosa).



A esta reacción hidrolítica se conoce generalmente con el nombre de **inversión**, ya que produce un cambio de actividad óptica dextrógira propia de la sacarosa a una actividad neta levógira a $[\alpha]^{20}_D - 39.7^\circ$.

Este fenómeno se inicia desde la misma planta de caña, pero **se acentúa después del corte y especialmente por efectos de temperatura, tiempo y pH (2)**. La sacarosa es estable en medio alcalino, **mientras que los azúcares reductores lo son en medio ácido**, por lo tanto en la elaboración de la panela se debe trabajar con un pH que evite el desdoblamiento de la sacarosa, pero que a la vez no destruya los azúcares reductores presentes, pues esto da origen a compuestos de coloraciones oscuras.

La sacarosa se sintetiza en la caña de abajo hacia arriba y su contenido aumenta con el tiempo hasta alcanzar su óptimo de madurez. Una vez madura la caña se inicia la inversión de la sacarosa a glucosa y fructuosa (azúcares reductores).

La madurez se puede determinar de dos formas. La primera fijando previamente la edad de corte y cuando llegue la fecha, se procede a la cosecha sin considerar ningún otro factor, el segundo método requiere el uso del refractómetro de campo y para su determinación se deben tomar muestras del sexto o séptimo entrenudo del tercio superior (B) y del tercio inferior (A) y; si:

0,95 < B/A < 1,0	caña madura
B/A > 1,0	caña sobremadura
B/A < 0,95	caña inmadura

Cañas inmaduras y sobremaduras dan rendimientos menores e influyen negativamente en la calidad de la panela.

1.1.4 Polisacáridos

Están constituidos principalmente por el almidón que se encuentra en el protoplasma de las hojas y en el extremo de los tallos de la caña. Su presencia disminuye la facilidad de clarificación de guarapos.

1.1.5 Fibra

Este material en la caña está constituido principalmente por celulosa, pentosanas, lignina y cenizas. Su composición fue determinada experimentalmente por de Armas y González pertenecientes al Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar (3) y aparece en la Tabla 2.

TABLA 2. Composición de la fibra de la caña.

COMPONENTES	%
Celulosa	45,00
Pentosanas	25,80
Lignina	22,30
Cenizas	3,50

Como composición elemental de la fibra se puede tomar carbón 47,0%, hidrógeno 6,5%, oxígeno 44,0% y cenizas 2,5%.

1.1.5 Otros compuestos

Entre estos se encuentran los ácidos orgánicos, No-Azúcares nitrogenados, Lípidos, material colorante, también conocido como No-Azúcares coloreados y minerales. El porcentaje de este tipo de compuestos es muy bajo, en general está por el orden del 1.0% del total (4).

1.1.5.1 Ácidos Orgánicos

Los ácidos orgánicos identificados en el jugo de la caña son los siguientes: Acotínico, Málico, Oxálico, Cítrico, Succínico y Fumárico. De estos el Acotínico es el que se encuentra en mayor proporción al encontrarse acumulado aparentemente debido a su acción amortiguadora de pH con el propósito de regular la acidez de la savia.

1.1.5.2 No Azúcares Nitrogenados

Los más importantes son las proteínas que son sustancias complejas de alto peso molecular y los aminoácidos que son las unidades que constituyen la proteína.

En el jugo de caña se han identificado las siguientes proteínas: albúminas, nucleínas y peptonas. Los principales aminoácidos presentes en el jugo de la caña son: Ácido Aspártico, Glutámico y Alanina.

El nitrógeno total presente en la caña varía entre 0,036 y 0,05%, encontrándose la mayor parte en las hojas y puntas del tallo (cogollo) de la caña.

1.1.5.3 Lípidos

Los Lípidos de la caña de azúcar corresponden a las grasas y ceras de la misma, son constituyentes indeseables en el jugo, siendo parcialmente eliminados en la clarificación. El contenido de lípidos totales de la caña en base seca es de 0,69% en las hojas, 0,38% en los tallos, 0,54% en las raíces y 2,01% en las semillas.

1.1.5.4 No Azúcares coloreados

No azúcares coloreados existentes originalmente en la caña.

Son los responsables del color del jugo y provienen de las sustancias de la caña que ya tenían color. Se clasifican en cuatro grupos:

- Clorofilas
- Xantofilas
- Carotenos
- Antocianinas

Los tres primeros son insolubles en soluciones azucaradas y pueden ser removidos durante la clarificación. Las Clorofilas son responsables del color verde y las Xantofilas y Carotenos de las coloraciones amarillas. Las Antocianinas son solubles en soluciones azucaradas y producen tonalidades azules, rojas o violetas dependiendo del pH del jugo.

1.1.5.5 No azúcares de la caña que pueden desarrollar color.

Son aquellos que por su reacción o combinación con otras sustancias forman material colorante. Se pueden clasificar en dos grupos: Polifenoles y amino-compuestos.

Los Polifenoles reaccionan con el hierro y el oxígeno para dar origen a compuestos de color oscuro, especialmente en soluciones alcalinas.

Los amino-compuestos reaccionan con los azúcares reductores presentes formando compuestos coloreados.

1.1.5.6 No azúcares inorgánicos

Se conocen comúnmente como minerales y su concentración en el jugo varía dependiendo del tipo de suelo, fertilización y variedad de caña. Los principales son:

- Sílice, SiO_2
- Potasio, K_2O
- Soda, Na_2O
- Cal, CaO
- Magnesio, MgO
- Hierro, Fe_2O_3
- Acido Fosfórico, P_2O_5
- Acido Sulfúrico, S_2O_3
- Cloro, Cl

1.2 Extracción

Es el paso de la caña a través del molino, obteniéndose un jugo o guarapo crudo como producto principal y bagazo húmedo (verde) usado como combustible para la hornilla.

El porcentaje de extracción en peso depende de las condiciones de operación del molino y tiene efectos marcados sobre la calidad y cantidad de jugo que se obtiene. El promedio nacional es del 51%, y para la Hoya del Río Suárez del 54%; sin embargo éstos valores son bajos, disminuyendo la rentabilidad del proceso.

El nivel de extracción en peso, combinado con el Brix de los jugos afecta directamente la cantidad de panela producida.

En términos generales con una extracción en peso del 60 al 65% se obtienen buenos resultados en jugo y panela desde los puntos de vista cuantitativo y cualitativo. Porcentajes superiores pueden afectar la calidad de los jugos debido al aumento de pectinas, gomas, ceras, grasas etc. que dificultan el proceso de clarificación y genera coloraciones indeseables en los jugos.

1.2.1 Jugo sin clarificar

Es el obtenido directamente del molino. Físico-químicamente es un dispersoide compuesto por materiales en todos los tamaños, desde partículas gruesas hasta iones y coloides. El material grueso consiste principalmente en tierra, partículas de bagazo y cera, que se pueden separar con el uso de los sistemas de prelimpieza diseñados por CIMPA.

Los coloides en el jugo incluyen tanto los derivados del suelo como los de la caña y están constituidos principalmente por partículas de tierra, ceras, grasas, proteínas, vitaminas, gomas, pectinas, taninos y material colorante. Su porcentaje es pequeño y fluctúa entre 0.05 a 0.3%.

Las dispersiones iónicas y moleculares, corresponden básicamente a azúcares (sacarosa y reductores) y los constituyentes minerales (calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, hierro, etc.).

1.2.2 Bagazo

Es el remanente de los tallos de la caña de azúcar después de extraerse el jugo azucarado que ésta contiene. El uso tradicional y más difundido de este material es la generación de calor mediante su combustión en las hornillas paneleras.

En la mayoría de los trapiches para que el bagazo se pueda usar como combustible, se requiere que sea sometido a un proceso de secado el cual generalmente se realiza en forma natural almacenándolo en cobertizos llamados bagaceras.

El tiempo requerido para que el bagazo esté en condiciones óptimas de humedad (menos del 30%) para su uso en hornillas tradicionales, varía entre 20 y 40 días y depende de algunos factores como son: altura del arrume, condiciones climáticas del sitio, humedad con la que sale el bagazo del molino y características de construcción de la bagacera.

2. PRELIMPIEZA DE LOS JUGOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Es la **eliminación por medios físicos de las impurezas** con las que sale el jugo de caña del molino. Algunos trapiches tienen como sistema de prelimpieza el tradicional pozuelo, que es un tanque de tamaño variable ubicado a la salida del molino.

Estos pozuelos, que eliminan muy pocas impurezas, favorecen la degradación microbiana causando pérdidas de sacarosa por inversión, las cuales traen como consecuencia disminución de la calidad y el rendimiento de la panela.

Por esta razón CIMPA, diseñó unos implementos denominados **Prelimpiadores**, cuya función es retener las impurezas dispersas en el jugo constituidas principalmente por restos de bagazo, bagacillo, caña, tierra, material flotante, lodos y agentes precursores de color. Manejados adecuadamente no presentan los problemas de degradación propios de la utilización del pozuelo.

El proceso de elaboración de la panela no se altera y la prelimpieza se efectúa a temperatura ambiente y en forma continua.

2.1 Principios de diseño y funcionamiento.

El funcionamiento de los prelimpiadores se basa en la **separación del material extraño del jugo, por la diferencia de la densidad existente entre las impurezas y el mismo.**

Al **separarlas en frío y antes de iniciar el proceso**, se evita que las sustancias precursoras de color, por efecto del calor, se liberen en el jugo logrando su acción negativa sobre la presentación de la panela.

El sistema se compone de dos prelimpiadores. El prelimpiador 1 tiene como función recibir el jugo del molino y remover las impurezas de mayor tamaño y diferencia de densidad, respecto al jugo, que son las que se separan más rápidamente. Por ese motivo su altura, útil y total, es mayor que la del prelimpiador 2. Así mismo su longitud es menor para evitar la degradación del jugo por tiempos de residencia prolongados, originados en los depósitos muy grandes.

El prelimpiador 2 remueve las impurezas con densidad más cercana a la del jugo, que son más difíciles de separar, tales como lodos y partículas pequeñas. Su menor altura se compensa con una mayor longitud, para lograr una mayor permanencia del jugo en el implemento sin aumentar su volumen.

Los prelimpiadores actúan así: el jugo llega del molino al prelimpiador 1 y las impurezas gruesas y pesadas se separan rápidamente del jugo, el cual pasa por debajo de una tabla retenedora de impurezas flotantes para dirigirse al prelimpiador 2. Este tiene tablas o láminas retenedoras para las impurezas flotantes y para las pesadas que van por el fondo arrastradas por el jugo.

En el prelimpiador 1 la diferencia entre la altura del nivel del jugo y la altura total debe ser mayor a 15 cm para evitar su saturación rápida y el desborde de las impurezas.

2.2 Ubicación

El mejor sitio para instalar los prelimpiadores es a la salida del jugo del molino, reemplazando el pozuelo tradicional y conduciendo los jugos a la paila recibidora de la hornilla, como se acostumbra en la Hoya del Río Suárez o al tanque de almacenamiento como sucede en otras regiones del país.

2.3 Construcción

Los prelimpiadores se deben construir en lámina de acero inoxidable.

Las dimensiones varían de acuerdo con la capacidad del molino pudiéndose establecer cuatro tamaños:

2.3.1 Tracción animal y capacidad de molienda inferior a media tonelada de caña por hora se utiliza solo el prelimpiador 1 con las siguientes dimensiones:

Largo: 0,80 m
Alto : 0,35 m
Ancho: 0,15 m

2.3.2 En trapiches con molinos con capacidad entre 0,50 y 1,0 toneladas de caña por hora, cuando la caña viene limpia se utiliza el prelimpiador 1 con las siguientes dimensiones:

Largo: 1,00 m
Alto : 0,50 m
Ancho: 0,30 m

En el caso de cañas con alto contenido de impurezas se debe utilizar también el prelimpiador número 2 con las dimensiones que se indican en el numeral 3 para este prelimpiador.

2.3.3 En trapiches con capacidad de molienda entre 1,0 y 2,0 t/h se requiere el prelimpiador 1 de las dimensiones del numeral anterior y el prelimpiador 2 con las siguientes:

Largo: 1,75 m
Alto : 0,30 m
Ancho: 0,30 m

- 2.3.4 En trapiches con capacidad superior a las 2,0 toneladas de caña por hora se debe aumentar el ancho del prelimpiador 1 en 10 cm por cada 500 Kg de caña adicionales o colocar un tercer prelimpiador de las mismas dimensiones del segundo.

2.4 Limpieza y mantenimiento

Durante la molienda las impurezas que flotan se deben retirar varias veces al día y este material puede pasarse nuevamente por el molino, con el fin de recuperar parte del jugo retenido. Cada vez que se haga esta operación se pueden añadir dos cucharadas de cal, para disminuir los riesgos de fermentación de los jugos.

Cada 12 horas máximo se deben retirar los tapones para lavar los prelimpiadores. Primero se retira el tapón del jugo residual y el jugo se recibe en un balde limpio y se deposita en la paila recibidora.

Posteriormente, se retiran los tapones de limpieza. Se lavan totalmente los prelimpiadores con abundante agua limpia para que salga el lodo, arena y residuos de la molienda.

Las anteriores recomendaciones deben complementarse con las siguientes instrucciones:

- Las laminas retenedoras de impurezas no deben moverse de su sitio.
- Se debe cubrir la parte superior de los prelimpiadores para evitar la caída del bagazo y residuos del molino.
- Durante su uso, los orificios de limpieza deben estar bien cerrados.

Cuando los prelimpiadores se construyen de acuerdo a los planos elaborados por CIMPA, se hacen los ajustes necesarios y se cumplen las observaciones sobre su mantenimiento, se retira del jugo cerca del 92% de las impurezas presentes.

2.5 Ventajas de la construcción de los prelimpiadores

La construcción de los prelimpiadores y su uso en la limpieza del jugo de la caña tiene las siguientes ventajas:

- Retira gran cantidad de impurezas
- Facilita la clarificación
- Reduce la cantidad de clarificante vegetal usada.
- Los jugos prelimpiados y clarificados quedan transparentes y brillantes.
- Evita la formación de costras e incrustaciones en las pailas.
- Reduce o elimina la utilización de blanqueadores como clarol: sin el uso de los prelimpiadores, en la Hoya del Río Suárez, se utiliza 1 Kg de clarol para producir 10 cargas de panela; con su uso, se reduce a 0,43 Kg de clarol para la misma producción.
- Se disminuyen los costos de producción y se incrementa la rentabilidad.
- El costo de construcción es bajo comparativamente con los beneficios obtenidos.
- Se produce panela natural de alto valor nutricional, carente de aditivos.

3. CLARIFICACION EVAPORACION Y CONCENTRACION LOS JUGOS DE CAÑA

3.1 Hornilla panelera

Las etapas de clarificación, evaporación y concentración se llevan a cabo en la hornilla u horno, donde se suministra el calor necesario para evaporar más del 90% del agua presente en el jugo y así obtener el producto conocido como panela.

3.2 Partes de la hornilla panelera

La hornilla panelera consta de la cámara de combustión (muy rudimentaria en hornillas tradicionales), ducto de humos, chimenea y área de transferencia de calor. A continuación se describe en forma breve cada una de ellas (5).

En la cámara de combustión se lleva a cabo el proceso de ignición entre el bagazo y el aire. Está conformada por el cenicero, la puerta de alimentación y la parrilla.

El ducto de humos es también llamado conducto o camino de gases. Su función es llevar los gases de combustión a la chimenea transfiriendo parte del calor a los jugos a través de las pailas.

La chimenea es la parte empalmada con el ducto de humos. Tiene forma trapezoidal y sus dimensiones varían de acuerdo al tamaño de la hornilla. Su función es crear el tiro necesario para la combustión del bagazo y el transporte de los gases a través del ducto.

El área de transferencia de calor esta formada por las pailas que son vasijas o recipientes metálicos generalmente llamados fondos donde se depositan los jugos. Allí se lleva a cabo la transferencia de calor necesaria para la evaporación del agua en el proceso de elaboración de la panela.

El área de transferencia de calor se ha dividido de acuerdo a las etapas de elaboración de panela en las siguientes secciones:

3.2.1 Clarificación

Comprende las pailas recibidora y clarificadora. En ellas se reciben los jugos y se lleva a cabo la limpieza de los mismos.

3.2.2 Evaporación

En esta área se obtiene el punto de mieles.

3.2.3 Concentración

Se obtiene el punto de panela.

3.3 Manejo de jugos

Existen tres formas de flujo de jugos a través de la hornilla: paralelo, contracorriente y mixto.

En el flujo paralelo los gases circulan en la misma dirección que lo hacen los jugos. Es característico de las regiones de Antioquía el Viejo Caldas y Nariño.

Tiene como inconveniente que la clarificación se realiza en una forma muy rápida, obteniéndose jugos opacos y turbios. Además de lo anterior en la sección de evaporación y concentración donde se requieren temperaturas altas, estas son relativamente bajas.

En el flujo contracorriente los jugos y los gases circulan en dirección opuesta. Es el flujo ideal, pero se corre el riesgo de que se queme la panela por la ubicación de la paila punteadora.

El flujo mixto es la combinación de los dos anteriores. Es típico en las zonas de Cundinamarca y Hoya del Río Suárez. Este manejo de jugos es el utilizado por CIMPA en la mayoría de sus diseños.

3.4 Clarificación

La clarificación de jugos de caña tiene como fin **eliminar los sólidos en suspensión, las sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes presentes en los jugos**. Este conjunto de impurezas puede ser retirado por flotación y/o sedimentación, operaciones fundamentalmente distintas.

En la elaboración de la panela, **la clarificación se lleva a cabo por flotación, siendo imposible realizarlo por sedimentación** ya que en las pailas de la hornilla los jugos se encuentran en ebullición.

La clarificación se realiza en las pailas recibidora y clarificadora de la hornilla mediante la **floculación o aglutinamiento de las impurezas presentes en el jugo, debido a un efecto combinado de temperatura, tiempo y acción de los agentes clarificantes (mucílagos vegetales y/o de los polímeros químicos)**. Para describir los aspectos fundamentales de ésta operación es necesario dividirla en dos fases:

3.4.1 Calentamiento de jugos

Terminada la prelimpieza se obtiene el jugo sin clarificar o guarapo, que pasa directamente al fondo o paila recibidora a una temperatura cercana a la del ambiente (2-3°C por encima generalmente) para **iniciar su calentamiento hasta 50-55°C**.

El calentamiento del jugo acelera la formación de partículas de tamaño y densidades mayores e incrementa su velocidad de movimiento facilitando su separación.

Parte del material colorante y de las sustancias precursoras y generadoras de color permanecen en solución, sin poder ser removidas debido a su tamaño y requieren la adición de otras sustancias que permitan su eliminación manual.

En algunas ocasiones, dependiendo de la variedad de caña, de las condiciones climáticas o del estado del jugo, se agrega una cantidad inicial de mucílago (balso, cadillo, guásimo, etc.) durante el calentamiento, con el objeto de aglutinar las impurezas y arrastrarlas hacia la superficie, permitiendo de esa manera una limpieza inicial o preclarificación.

3.4.2 Adición del agente clarificante

La **clarificación se lleva a cabo mediante la floculación o aglutinación de las impurezas presentes en el jugo de la caña, debido a un efecto combinado de temperatura, tiempo y acción de los agentes clarificantes (mucílagos vegetales y/o polímeros químicos)**.

3.4.2.1 Mucílagos vegetales

Durante la clarificación, en la elaboración de panela, es común el uso de los mucílagos vegetales tales como el balso, el cadillo o el guásimo ya que estos tienen un gran poder floculante y permiten el aglutinamiento de las impurezas facilitando y mejorando el proceso de limpieza de los jugos.

En el país los mucílagos mas empleados son los obtenidos de la maceración del balso, el cadillo y el guásimo. Su uso depende de la disponibilidad y costumbres de la zona. A continuación se darán sus características botánicas (6):

3.4.2.1.1 Balso: Es un árbol muy común en los climas templados del país. Esta planta es del orden de las Malvales, de la familia *Sterculiaceae*, su nombre científico es *Heliocarpus popayanensis*.

3.4.2.1.2 Cadillo: Se encuentran con este nombre dos plantas diferentes que están clasificadas en latín como *Medicago Sativa L.*, conocida vulgarmente como cadillo de hierba o alfalfa, con frutos muy espinosos y tiene la mayor parte mucilaginoso en el fruto. La segunda planta es de la familia de las Tiliáceas con nombre científico *Triumfetta láppula L.* es conocida vulgarmente como pega-pega, la mayor concentración de mucílago se encuentra en el tallo y es la mas utilizada en la industria panelera.

3.4.2.1.3 Guásimo: Con nombre científico *Guázuma Ulmifolia Lamark*, es el árbol más frecuente en las llanuras cálidas colombianas.

Puesta su corteza en agua, el mucílago en ella encerrado, se desprende en coágulos cristalinos.

Se emplea principalmente en Cundinamarca y en las regiones paneleras que se encuentran por debajo de los 1.200 metros sobre el nivel del mar.

3.4.3 Características de los mucílagos

El balso, el cadillo y el guásimo tienen la propiedad, ya sea en el tallo, la raíz, las hojas o el fruto de desprender una sustancia babosa al contacto con el agua, cambiando su color y su viscosidad, denominada mucílago.

Los mucílagos se suelen confundir con las gomas y pectinas, diferenciándose de estas solo 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.

El mucílago es un producto orgánico de origen vegetal, de peso molecular elevado, superior a 200.000 g/gmol, cuya estructura molecular completa es desconocida. Están conformados por polisacáridos celulósicos que contienen el mismo número de azúcares que las gomas y pectinas.

Se forma en el interior de las plantas durante su crecimiento segregado por pelos, bolsas y conductos. Se encuentra asociado en ocasiones con otras sustancias como los taninos. Se cree que almacena agua, facilita la dispersión y germinación de las semillas, espesa las membranas y sirve de reserva alimenticia.

3.4.4 Extracción y forma de aplicación de los mucílagos

La corteza de las plantas proveedoras del mucílago, una vez es retirada del árbol, se macera o machaca con un mazo con el fin de aumentar la extracción del mucílago. Una vez preparada la corteza se deposita en un recipiente con agua y se deja hasta que se forme una baba gelatinosa, como en la Hoya del Río Suárez o; se hace un manojo que desprende el mucílago directamente en el jugo en la paila clarificadora, como se realiza en la mayor parte de las otras regiones.

La cantidad de solución mucilaginoso a emplear depende de la concentración de la misma, de la variedad de caña que se esté moliendo, de la calidad de los jugos y de las condiciones climáticas de la zona. Esta solución se emplea cuando los jugos han alcanzado una temperatura superior a 50°C, agregando 3/4 partes de la cantidad de solución necesaria. En la Hoya del Río Suárez se utilizan entre 15 y 30 litros de solución por cada 500 litros de jugo.

Cuando los jugos alcanzan una temperatura entre 75 y 82°C las impurezas que flotan, denominadas cachaza negra, se retiran manualmente y se depositan en unos recipientes llamados cachaceras. Retirada la cachaza negra se agrega el mucílago restante y antes de que los jugos alcancen la ebullición se remueve la segunda capa de impurezas o cachaza blanca la cual es más liviana que la anterior. De la adecuada realización del proceso anterior depende en gran parte la calidad de panela a obtener.

La adecuada preparación del mucílago es fundamental ya que si se tiene una solución poco concentrada se estará adicionando gran cantidad de agua a los jugos, aumentando el consumo de bagazo en la hornilla. En algunos trapiches en la preparación del mucílago se sustituye el agua por jugo clarificado siendo ésta una práctica aconsejable.

Es importante anotar que un exceso de mucílago es perjudicial, pues en el batido la panela presentará problemas con el grano al tener una consistencia blanda y babosa.

La corteza de las plantas se debe cambiar cuando al contacto con el agua o con el jugo no produzca una buena cantidad de baba. Es importante anotar que una vez agregado el mucílago y realizada la homogeneización del mismo en el jugo se debe dejar en completo reposo con el fin de evitar que la capa de cachaza que se está formando se rompa.

El sistema de agregar el balso directamente al jugo ofrece menor homogeneidad de la clarificación pero disminuye el consumo de bagazo en la hornilla. Sin embargo, en épocas de verano fuerte es necesario agregar agua al jugo sin clarificar para que suelte la cachaza totalmente.

Existen algunas formas diferentes de adición de los clarificantes vegetales, de acuerdo con costumbres regionales. Una de ellas es la del Valle del Cauca, donde para remover la cachaza negra se usa guásimo y para la cachaza blanca se emplea cadillo.

Además existen otras plantas o productos vegetales de uso no tan generalizado como la "escoba babosa", el "Juan Blanco", la corteza del fruto del cacao.

3.4.5 Polímeros químicos

Existe la alternativa de reemplazar los mucilagos vegetales por compuestos químicos que realizan la misma función, diferenciándose en que no aportan nitrógeno, fósforo agentes colorantes y otros compuestos.

Para comprender la función de los polímeros químicos es necesario conocer la teoría de la coagulación y floculación (7,8).

3.4.5.1 Coagulación y Floculación: Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al de la solución, llamadas floc.

3.4.5.1.1 Coagulación: Consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre la sustancia adicionada y la solución que dan como resultado la remoción o desestabilización de las fuerzas que mantienen unidas las partículas. Este proceso comienza en el mismo instante en el que se adicionan los coagulantes a la solución y demora solo fracciones de segundos.

3.4.5.1.2 Floculación: Una vez desestabilizadas las partículas coloidales se trasladan dentro del líquido, hacen contacto unas con otras y forman coágulos de mayor tamaño. Este proceso se conoce como floculación y puede ser de dos tipos: Ortocinética y Pericinéctica.

El primero se debe a la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (rotores y aspas por ejemplo). La floculación pericinetica es promovida internamente en el líquido por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de él (movimiento browniano) y por la gravedad o peso de las partículas al caer.

3.4.6 Coagulantes

Existen dos grupos de coagulantes: los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos.

3.4.6.1 Polielectrolitos: Son polímeros de alto peso molecular, conformados por uno o varios tipos de monómeros unidos en cadenas lineales o ramificadas.

Las cadenas poliméricas ya se encuentran formadas cuando se agregan a la solución; poseen un gran número de sitios activos por cadena y en todos los casos forman macromoléculas de tamaño coloidal.

Se clasifican de acuerdo con su carga, según la polaridad de los grupos ionizables, en aniónicos y catiónicos. Aunque también existe la posibilidad de que sean no iónicos o neutros, cuando no poseen grupos ionizables.

3.4.6.2 Coagulantes metálicos: Los coagulantes metálicos se pueden clasificar en tres grupos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios.

Entre las primeras se encuentran, el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato de sodio. El cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso hacen parte de las sales de hierro.

Entre los compuestos los más importantes son la cal, el carbonato de sodio, el carbonato de magnesio, aunque también se usa el ácido fosfórico, el fosfato monocálcico, la bentonita, la bauxita calcinada, el óxido de magnesio, el bióxido de azufre y el bióxido de carbono entre otros.

En la industria panelera la cal ocupa un lugar tan importante que merece un numeral aparte.

3.4.6.1.1 Dosis y forma de aplicación

De los polímeros se han evaluado las poliacrilamidas aniónicas catiónicas y no iónicas. De estas solo las primeras, especialmente el Mafloc 975, presentaron resultados comparables a los del balsa en la clarificación.

Los poliacrilamidas aniónicas presentan gran flexibilidad en cuanto a sus condiciones de operación. Se obtienen resultados de turbiedad en jugos similares con dosis entre 2 y 10 p.p.m. de polímero a jugo, grado de dilución del polímero entre 37 y 2500 cc/g; y pH de clarificación entre 5,4 y 6,4.

El Mafloc 975 se debe disolver en agua o jugo clarificado a una temperatura entre 30 y 40°C para asegurar la dispersión del polímero y la formación de la baba gelatinosa. Se puede preparar en soluciones hasta de 2.000 p.p.m. agregando al jugo el equivalente a la dosis recomendada (2 a 10 p.p.m.).

3.4.7 Factores determinantes para una buena clarificación

Se ha comprobado experimentalmente que hay factores determinantes para lograr una buena clarificación tales como:

3.4.7.1 Concentración de fósforo: Es necesario que los jugos contengan una cantidad de fósforo no inferior a 250 miligramos por cada litro de jugo (p.p.m), para poder garantizar la eliminación de los compuestos polifenólicos de hierro presentes en el jugo y causantes de las coloraciones oscuras.

3.4.7.2 Concentración de hierro: Altas concentraciones en los jugos producen panelas de coloraciones muy oscuras. Estas concentraciones dependen básicamente del tipo de suelos y variedad de caña pero son susceptibles de neutralizar y corregir.

3.4.7.3 Gradiente de temperatura con respecto al tiempo: La clarificación se inicia cuando los jugos llegan a la paila recibidora a la temperatura ambiente y termina cuando se alcanza la ebullición (95°C en la Hoya del Río Suárez). Es recomendable que la temperatura se eleve entre 1 y 1,5°C por minuto a fin de que el efecto combinado de temperatura, tiempo de clarificación y el floculante usado, permitan la aglutinación de las impurezas.

3.4.7.4 Grado de acidez del jugo: El valor de pH es uno de los factores más importantes de controlar en el proceso, pues cuando a los jugos les falta cal producen panela "Falta de Grano" (blanda y melcochuda) y en el caso contrario (pH superior a 6,5) oscurece el producto.

La adición de cal disminuye el proceso de inversión o formación de azúcares reductores, es decir, la transformación de una molécula de sacarosa que es un disacárido en 2 azúcares simples: glucosa y fructuosa. El porcentaje máximo de azúcares reductores para obtener una panela de buena calidad, desde el punto de vista de la dureza, no debe exceder el 8 a 10%.

En la práctica es deseable que la formación de la capa sobrenadante de impurezas sea lo más completa posible para obtener una cachaza densa y un jugo claro, brillante y transparente. Aquí finaliza el proceso de clarificación y de su eficiencia depende en gran parte el color y calidad final de la panela.

3.4.8 Reacciones Fundamentales del Proceso de Clarificación

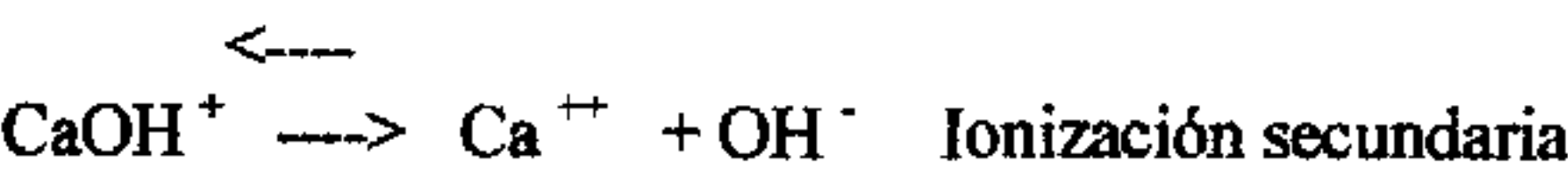
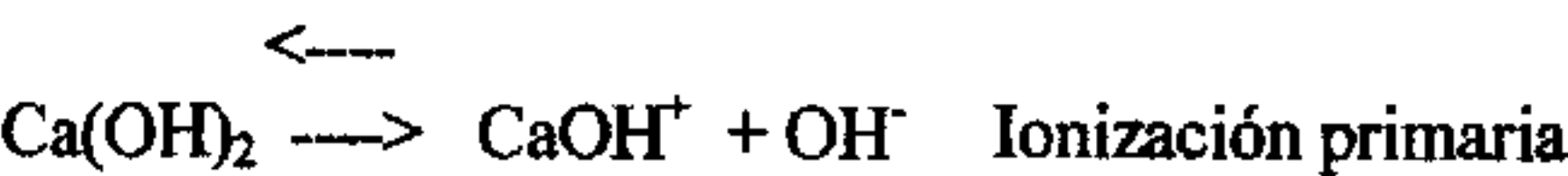
Con los constituyentes del jugo la cal produce tres tipos de reacciones:

- ❖ Formación de sustancias insolubles
- ❖ Formación de sustancias que permanecen en solución
- ❖ Coagulación de suspensiones coloidales y de suspensiones toscamente dispersas.

3.4.8.1 Efectos de la clarificación sobre sustancias no-orgánicas presentes en el jugo de la caña.

A- Hidróxido de calcio

El Hidróxido de calcio es una base relativamente fuerte, por ser un hidróxido de un metal bivalente cuya ionización tiene lugar en dos fases (4):



La actividad química del hidróxido de calcio depende de la concentración efectiva o actividad de los iones, Ca^{++} , OH^- y

$\text{Ca}+\text{OH}$. Debido a que la ionización secundaria es mínima, es también baja la concentración de Ca^{++} .

El calcio forma con muchos ácidos orgánicos, tales como el glicólico y málico, sales que se disocian débilmente. Tiende a asociarse con aminoácidos como el aspártico para formar estructuras de quelatos poco ionizadas y iones complejos.

B- Calcio remanente

El jugo de caña contiene muchas sustancias orgánicas e inorgánicas, que tienden a aumentar la solubilidad de los compuestos de calcio. Debido a lo anterior el contenido de calcio en el jugo aumenta, siendo este aumento independiente del contenido inicial de calcio.

C - Sílice

Probablemente el jugo de caña, se encuentra saturado en sílice; sin embargo, la solubilidad es extremadamente baja. La sílice está presente principalmente como SiO_2 disuelto, SiO_2 coloidal y en suspensión, en forma de silicatos. La mayor parte de la sílice se separa en el proceso de clarificación.

D- Magnesio

El magnesio algunas veces se encuentra en el jugo de la caña en más altas concentraciones que el calcio. El grado en el cual se precipita el magnesio como óxido de magnesio (MgO) en el proceso de clarificación depende del pH.

E- Hierro y Aluminio

En el jugo, el hierro y el aluminio pueden estar en suspensión en grandes cantidades, formando parte de las partículas férricas. Sin embargo, solo en un grado muy limitado se presentan en solución.

F - Potasio, sodio y cloro

Estas sustancias inorgánicas se encuentran en forma iónica, en el jugo de la caña y la mayor parte permanecen en él, sin sufrir ningún cambio durante el proceso de clarificación.

G- Cenizas totales

La precipitación del fosfato, sílice, sulfato, magnesio, hierro y aluminio tienden a reducir el contenido de cenizas. Sin embargo, el incremento en calcio y alguna disminución de los constituyentes orgánicos balancea este efecto, de tal manera que el cambio total es muy pequeño.

3.4.8.2 Efectos de la clarificación sobre las sustancias orgánicas presentes en el jugo de la caña.

A- Compuestos Nitrogenados

El nitrógeno presente en el jugo de la caña se encuentra principalmente formando aminoácidos y amidas y en menor proporción, proteínas. Durante el proceso de clarificación las proteínas son casi completamente precipitadas; en cambio los aminoácidos simples permanecen en solución.

♦ Aminoácidos y Amidas

Entre los aminoácidos presentes en el jugo de la caña se tienen: ácido aspártico, ácido glutámico, valina, alanina, glicina, serina, lisina y leucina. Como se indicó anteriormente, los aminoácidos

simples permanecen estables y sin precipitar en el proceso de clarificación.

Los aminoácidos se combinan con los azúcares reductores para dar lugar a la reacción de Maillard o "Pardeante" originando compuestos precursores de color. La glicina es uno de los aminoácidos más activos a este respecto. Además al tener, tanto ácido carboxílico como grupos básicos amino, los aminoácidos son anfotéricos por naturaleza y por eso actúan como estabilizadores de pH.

Entre las amidas presentes en el jugo de la caña se pueden mencionar la glutamina y la esparraguina.

♦ Proteínas

Las proteínas tienen un peso molecular elevado y forman soluciones coloidales; al ser combinaciones complejas de los aminoácidos, tienen el carácter de anfólitos, con características tanto ácidas como básicas. Por lo tanto el comportamiento químico de las proteínas depende en alto grado del pH. Cada proteína tiene un punto isoelectrico definido en el cual no dominan ni los grupos ácidos ni los básicos. Un gran porcentaje de las proteínas presentes en el jugo de la caña lo constituyen las albúminas.

La albúmina es una proteína que se encuentra en el jugo, tiene su punto isoelectrico a un pH de 5,5, donde la proteína muestra un mínimo de hidratación y turgencia y donde la solución coloidal tiene la menor estabilidad. La precipitación ocurre más fácilmente a este pH si la proteína se desnaturaliza por el calentamiento.

Se entiende por desnaturalización un cambio molecular interno en el cual la proteína pierde su estructura primaria que la identifica. Debido a que el jugo crudo tiene un pH situado en el nivel del punto isoelectrico, la albúmina deberá ser efectivamente removida por el calentamiento.

Según Honig, la precipitación de la albúmina, durante la clarificación es ventajosa ya que este material ocluye otros compuestos ayudando así a la separación de las impurezas.

B- Gomas

Las gomas se componen principalmente de pentosanas, polisacáridos que por hidrólisis dan azúcares del grupo de la pentosa. Las pentosanas son sustancias coloidales hidrofílicas que incrementan marcadamente la viscosidad de las soluciones. El contenido de pentosana en el jugo crudo oscila entre 0,02 y 0,05% permaneciendo como tal después del proceso de clarificación.

C- Pectinas

Las pectinas son carbohidratos de composición compleja y al igual que las gomas, son sustancias coloidales hidrofílicas que tienen la propiedad de aumentar considerablemente la viscosidad de las soluciones.

El contenido de pectina en el jugo de la caña no excede el 0,1% y su valor depende en grado considerable de la molienda, ya que se encuentra principalmente, haciendo parte de la pared celular de la caña.

3.4.8.3 Influencia del tiempo de almacenamiento del Jugo en la Calidad de la Panela.

En jugos almacenados por períodos cortos la calidad de la panela obtenida no se ve afectada, pero en tiempos superiores a 6 horas se presentan problemas de fermentación causando la inversión de la sacarosa.

En ensayos realizados con jugo crudo almacenado por ocho horas, se observa que se necesita una cantidad de cal tres veces superior a la utilizada normalmente, debido al avanzado estado de fermentación del jugo, obteniéndose una panela de baja calidad con un alto porcentaje de azúcares reductores.

Para el mismo período de almacenamiento pero dejando el jugo ya clarificado y encalado, el porcentaje de inversión de la sacarosa fue menor, necesitándose dos cucharadas de cal adicionales, obteniéndose una panela con una calidad superior a la anterior. Se debe en lo posible evitar el almacenamiento de jugo por un período prolongado de tiempo, en caso de que sea necesario lo más aconsejable es clarificarlo y encalarlo.

3.5 Evaporación

Es la etapa que sigue a la clarificación y donde el calor suministrado es aprovechado básicamente en el cambio de fase del agua (líquido a vapor) eliminándose cerca del 90% del agua presente con lo cual se aumenta el contenido inicial de los sólidos solubles (entre 16 y 21°B) Brix hasta el punto de panela, elevándose la temperatura hasta 120°C en promedio.

La raya, cocha, ceba o botija se divide en la paila en dos, tres o cuatro puntos de acuerdo a la capacidad de la hornilla, con el fin de facilitar el manejo de los jugos y la evaporación. El movimiento de jugos una vez dividida la raya depende de las costumbres de la zona.

En esta etapa se realiza el proceso de encalado de los jugos ya sea en adición total inicial, fraccionada o final, así mismo como los agentes blanqueadores.

3.5.1 Elaboración y usos de la cal en la industria panelera.

Es indispensable agregar cal cuando el pH de los jugos es inferior a 5,60 con el fin de evitar la inversión de la sacarosa. Esto hace de la cal un aditivo básico en la elaboración de la panela.

3.5.2 Fabricación de la cal

El término piedra caliza se aplica en un amplio sentido a muchas formas de carbonato de calcio, cada una con distintas propiedades físicas. La piedra caliza tiene diferentes grados de pureza, pudiendo estar contaminada con arcilla, carbonato de magnesio, arena y otras impurezas. Su color generalmente es amarillento, grisáceo o blanco, después de su calcinación el producto es casi siempre blanco (1,4).

La piedra caliza debe ser dura para evitar su pulverización durante el transporte y en la calcinación; pero no demasiado, porque en una piedra muy dura se dificulta su calcinación.

La obtención de la cal tiene como materia prima el Carbonato de calcio el cual al calentarse tiende a disociarse en cal viva y Dióxido de carbono de acuerdo con la reacción expresada por la ecuación:



No hay uniformidad de conceptos sobre la temperatura correcta de un horno de cal, la cual depende de la relación entre tamaños de la piedra de cal y del coque.

La descomposición del carbonato de calcio es una reacción endotérmica, absorbiendo 42,5 kcal/kgmol.

Una cal quemada apropiadamente, es aquella que ha sido calentada solo ligeramente arriba de su temperatura de descomposición y que se ha mantenido a esa temperatura el tiempo suficiente para obtener una calcinación completa. Es de peso ligero, muy porosa y fácilmente hidratable. Los terrones son solo ligeramente diferentes en forma y tamaño a la cal original y se apagan fácilmente, debido a que el espacio interatómico permite que las moléculas de agua penetren sin dificultad.

La calcinación a altas temperaturas y por un largo período de tiempo da por resultado una reagrupación de los átomos y en el límite produce una cal muerta.

3.5.3 Apagado de la cal

La formación de Ca(OH)_2 a partir de CaO es una reacción exotérmica en donde hay desprendimiento de calor,



Cuando en los trapiches se utiliza una cal que ha permanecido demasiado tiempo en el horno es decir una cal recocida o cal muerta, pierde parte de su poder de hidratación, lo que hace que se disuelva en forma lenta en el jugo, ocasionando de pronto que se agregue un exceso de cal al jugo para alcanzar el pH deseado.

3.5.4 Calidad de la cal

Para determinar la calidad de la cal se deben realizar algunos análisis de laboratorio, siendo los más importantes, la determinación del porcentaje de CaO aprovechable, prueba de asentamiento, insolubles en ácido clorhídrico, humedad, porcentaje de azufre y de algunas otras impurezas. El porcentaje de CaO aprovechable en una cal de primera clase debe estar entre 85 y 90%. Sin embargo los porcentajes de impurezas y de CaO aprovechable no son suficientes para clasificar una cal de un modo completo.

En muchos trapiches se ha observado un incremento gradual en el pH del jugo alcalinizado y el asentamiento de materiales lodosos en el agua de panela, lo cual puede explicarse por la disolución gradual de las partículas de cal no apagada. Este fenómeno es una indicación de que se está usando cal sobrecalcinada o muerta, cuyas partículas se hidratan muy lentamente. El apagado completo de la cal muerta toma mucho tiempo, o en otras palabras, la propiedad de la cal llamada "apagamiento" en este caso es muy baja.

3.5.5 Usos de la cal en la industria panelera

El principal efecto del uso de la cal en el proceso de elaboración de panela es la elevación del pH de los jugos o mieles, evitando la inversión de la sacarosa, por ser este disacárido más estable en medio alcalino.

La cal también se puede usar como floculante, es decir, como un auxiliar de clarificación. Esta propiedad es utilizada en los procesos azucareros, para llevar a cabo el proceso de sedimentación o decantación.

En la elaboración de la panela, al agregar cal en frío, según estudios realizados en CIMPA, la acción de los floculantes vegetales es mayor ya que estos actúan mejor cuando el pH de los jugos es cercano a 5,8.

El inconveniente que se presenta al encalar en frío, es que se forma una cachaza menos densa y más difícil de retirar de la paila. Además se incrementa el tiempo de separación del jugo en la cachacera al tener este una densidad más cercana a la cachaza.

La alcalinización del jugo en caliente da por resultado la separación de más compuestos nitrogenados que la alcalinización en frío. Los aminoácidos presentes en el jugo de la caña, pueden llegar a reaccionar con los azúcares reductores en la reacción conocida como de "Maillard", dando origen a compuestos de color incluso más oscuros que los producidos por un exceso de adición de cal al jugo. Por esta razón es deseable eliminar la mayor cantidad de estos aminoácidos en el proceso de clarificación.

Según Honig al encalar un jugo en frío y otro en caliente, se observa que aparentemente se necesita menos cantidad de cal en el proceso de alcalinización en caliente para alcanzar un mismo valor de pH. Esto se ha verificado en los trapiches.

La inversión de la sacarosa es función de la temperatura, el pH y el tiempo de residencia de los jugos en la hornilla. A partir de 100°C la inversión se acelera notablemente, por lo que se debe procurar mantener los jugos el menor tiempo posible a esa temperatura.

Basados en este hecho, se hace aconsejable realizar el proceso de encalado en el fondo número 1, cuando el jugo ha alcanzado un porcentaje de sólidos solubles superior a 40°B o máximo en el momento de iniciarse el proceso de concentración, punto en el cual la miel todavía puede recibir la cal.

3.5.6 Dosis y forma de aplicación de la cal

La cantidad de cal que se utiliza en el proceso de elaboración de panela es muy variable y depende principalmente de la pureza de la misma (porcentaje de calcio) y del pH de los jugos crudos. Por regla general los jugos son de carácter ácido con valores de pH entre 5,0 y 5,5. El pH ideal para lograr una panela de buena calidad debe ser lo más cercano a 5,8, siendo necesario adicionar cal para alcanzar este valor.

Usualmente solo se añade la suficiente cantidad de cal para neutralizar la acción de los ácidos orgánicos contenidos originalmente en los jugos. Un exceso de cal es perjudicial pues cuando se encala a pH superiores a 6,0 se presenta un marcado oscurecimiento de la panela.

El encalado se puede hacer directamente en los jugos o en forma de lechada de cal, es decir una suspensión de cal apagada en agua en concentraciones de 12-15 grados Baumé (100 a 150 gramos de cal por litro de agua). Existen tres formas principales de aplicación de la cal: inicial, fraccionada y final, dependiendo tanto de las condiciones del jugo que se esté procesando, como de la forma de trabajo del relimpiador.

3.5.6.1 Adición inicial: En esta forma de aplicación se adiciona la cantidad total de cal a emplear en la raya o cocha a procesar ya sea en jugo frío o en jugo recién clarificado.

3.5.6.2 Adición Fraccionada: Se agrega la mitad de la cal a emplear en la raya o cocha en jugo crudo o recién clarificado; y el resto al final cuando los jugos alcanzan cerca de 65°B.

3.5.6.3 Adición final: La cal se adiciona totalmente cuando los jugos alcanzan una concentración de 65°B. En este caso la cal solo sirve para evitar la inversión de la sacarosa y mejorar el grano o dureza de la panela

3.5.7 Blanqueadores

Son sustancias decolorantes utilizadas para eliminar las coloraciones oscuras del jugo de la caña. En el proceso de elaboración de panela se adiciona el producto comercialmente conocido como clarol, de efectos tóxicos especialmente en la población infantil.

Este aditivo que químicamente se denomina Hidrosulfito, Hiposulfito o Metabisulfito de sodio, está constituido por los elementos Sodio y Azufre. Con el primero, no se presentan problemas dado que el organismo está en capacidad de metabolizarlo o asimilarlo. El azufre por su parte tiene límites máximos de permisibilidad establecidos, es decir, cantidades o concentraciones que no deben sobrepasarse para evitar toxicidad por acumulación.

Dichos límites han sido determinados por las máximas entidades en control de aditivos que son la F.D.A (Administración de drogas y alimentos), O.M.S (Organización mundial de la salud) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación) en 0,7 mg de dióxido de azufre (SO_2) por kilogramo de peso corporal persona por día (8).

Como la panela no es la única fuente de SO_2 en la dieta resulta preocupante el consumo de este alimento cuando se han empleado altas dosis de clarol en su fabricación.

Además del aspecto toxicológico, el empleo de este compuesto como mejorador de color, no se justifica, dado que su acción no es permanente. Su efecto es fuertemente reductor pero susceptible a reoxidarse durante el almacenamiento por contacto con el aire produciendo con el tiempo coloraciones más oscuras y verdosas de poca aceptación en el mercado(9).

Las coloraciones oscuras de los jugos son causadas por deficiencias de fósforo en los mismos. Durante mucho tiempo se ha reconocido la efectividad de los fosfatos en la eliminación de agentes precursores de color.

Se ha comprobado que para una buena clarificación el jugo debe tener una concentración de fosfatos superior a 250 p.p.m (250 mg/l de jugo o guarapo). Estudios realizados por CIMPA, en jugos provenientes de las 5 variedades de caña más utilizados para la elaboración de panela (POJ 2878, POJ 2714, PR 61632, H 507209, Co 421), mostraron que en el mejor de los casos su contenido escasamente llegaba a 177 p.p.m.

Para elevar el nivel de fósforo CIMPA desarrolló investigaciones con el Fosfato Monocálcico y el Acido Fosfórico obteniéndose los mejores resultados usando dosis de 250 a 300 ppm en el primer caso y con ácido fosfórico de 50 - 100 ppm.

Desde el punto de vista técnico los dos productos funcionan bien pero económicamente resulta más conveniente el ácido fosfórico por sus menores costos. Así mismo se llegó a la conclusión que la panela tiene un color *sui generis* que no se justifica modificar por medios artificiales que le hace perder su carácter de producto natural. Además las sustancias generadoras de color se pueden remover en un grado suficiente, mediante los prelimpiadores y en la clarificación tradicional en la mayor parte de los casos, cuando se realizan en forma adecuada.

3.6 Concentración

Es la fase final del proceso, se presenta a temperaturas superiores a los 100°C, se realiza en la paila punteadora o concentradora. En esta parte se adicionan el agente antiespumante.

La concentración es la etapa mas crítica desde el punto de vista del grano de la panela, pues al registrarse allí las mayores temperaturas de proceso (entre 100 y 125°C) la inversión se acelera en forma tal que el porcentaje de azúcares reductores iniciales, cuando menos se duplica durante la

concentración. Por lo tanto es aconsejable realizar esta etapa en el menor tiempo posible y asegurarse de que las mieles tengan un pH de 5,8.

El "Punto" de panela se obtiene entre 118 y 125°C, con un porcentaje de sólidos solubles entre 88 y 94 °Brix determinándose por la consistencia, color y densidad de las mieles. La temperatura final de punteo depende, en orden de importancia, del Brix de las mieles, de la altura sobre el nivel del mar del trapiche y de la pureza de las mieles.

Debe tenerse bastante precisión al obtener el "Punto" ya que si se saca a muy alta temperatura se presentará una caramelización de los azúcares con su consecuente oscurecimiento. En caso contrario se dificultará la solidificación.

3.6.1 Adición de grasas o ceras

Cumplen dos funciones en el proceso de elaboración de panela; la primera es de antiespumante para evitar que los jugos durante la ebullición rebosen la altura de la falca de la paila. En este caso su adición se debe realizar en las pailas con Brix bajo y colocadas en sitios de la hornilla con temperatura elevada (primera y segunda generalmente).

La segunda función es de lubricación, en este caso su adición se hace en la paila concentradora o punteadora a temperaturas entre 100 y 102°C y no superiores pues la miel ya no las "recibe". El aceite evita que la miel se adhiera a las paredes de la paila evitando su caramelización y quemado.

Los lubricantes y antiespumantes más utilizados son el aceite de higuera, el cebo animal, la cera de laurel y la manteca vegetal. En caso de necesidad se puede usar aceite vegetal, pero mezclado con cualquiera de los anteriores porque solo no ofrece un buen resultado. La cantidad a usar depende como en todos los aditivos mencionados anteriormente de la caña, de la habilidad del operario y de las condiciones en que se fabrique la panela.

3.6.2 Colorantes

El jugo de la caña por naturaleza posee pigmentos que proporcionan coloraciones oscuras como son los compuestos polifenólicos (taninos, lacasa y sales ferrosas), las clorofilas verdes insolubles, la sacaretina amarilla y pequeñas cantidades de compuestos antocianínicos solubles. Este material colorante, Cuando aparece en grandes cantidades y no se elimina en la prelimpieza y clarificación, produce jugos bastante oscuros que hacen que el fabricante de panela por costumbres del consumidor haga uso de las tintas o anilinas para enmascararlas (10).

En la actualidad en algunas zonas del país se utiliza una anilina altamente tóxica denominada comercialmente "El Indio", o naranja L (sal disódica del ácido P-Sulfo Benceno Azo Beta Naftol). Sin embargo su uso ha disminuido significativamente con la introducción y buen manejo de los prelimpiadores y con las campañas de concientización sobre el no uso de estos colorantes realizadas por CIMPA.

Llevando estas campañas a ciertos sectores de consumidores y con la colaboración en el control de panela con colorantes por las autoridades de nivel regional, se podría acabar totalmente con el uso de estos productos innecesarios desde el punto de vista de la calidad nutricional.

Lo anterior es posible porque oficialmente el Ministerio de Salud, por resolución número 10.092 de Julio de 1.985, prohíbe el uso de cualquier sustancia colorante en la elaboración de panela.

4. PUNTEO EN LA ELABORACION DE PANELA

El **punto de panela** se da cuando las mieles adquieren una serie de características que permitan retirarlas de la hornilla y que por las operaciones posteriores del proceso, como batido y moldeo, adquieran la tipificación de la panela.

En los trapiches, por la falta de instrumentos de control, se recurre a la observación de ciertas características físicas que dependen de una gran experiencia del operario para acertarlas y que varían de acuerdo con la región.

Una de las manifestaciones del punto de la panela se da cuando al tomar una muestra de la miel, ésta presenta una estructura cristalina y a la vez de gran fragilidad, que se detecta por un sonido claro al lanzar una pequeña parte de la muestra de miel enfriada, contra la falca metálica de las pailas o el techo de zinc del trapiche. Este mismo tipo de estructura se detecta introduciendo la muestra caliente en agua o tomándola directamente de las pailas con un dedo humedecido y luego evaluando su fragilidad y limpieza de quebrado.

En otras ocasiones las propiedades físicas valoradas son la viscosidad y adherencia de las mieles, que el operario evalúa a "ojo" mediante la velocidad de escurrimiento de estas sobre la falca de la paila o en el mismo remellón o cazo. Otra característica del **punto de panela** muy usada, es la formación de grandes burbujas o películas muy finas y transparentes denominadas "pañuelo".

El **punto de panela** depende principalmente de la concentración de los sólidos solubles (Brix) y de la **pureza** (contenido de sacarosa con relación al Brix) de las mieles.

La **pureza** generalmente se expresa en porcentaje, pero también puede aparecer en forma decimal. Una panela con el mismo Brix será más dura y de mayor finura cuando tenga una pureza o concentración de sacarosa más alta.

En general, el **punto de panela** se obtiene cuando las mieles alcanzan una concentración variable entre 88 y 94°B. La panela moldeada individualmente en "coco" presenta un porcentaje de sólidos solubles 93 y 94°B y en algunos casos superior. La moldeada en gaveras tiene un Brix entre 88 y 91°B.

El contenido de humedad del producto es un valor cercano al inverso del Brix. Como la panela de "coco" presenta mayor concentración de sólidos solubles, en general azúcares, su humedad será menor y por esto es que la gente opina que la panela redonda rinde y endulza más que la cuadrada.

La velocidad de respuesta de los aparatos que determinen el **punto de la panela** debe ser alta, porque los cambios de las características ocurren rápidamente en las mieles en su punto final y éstas se pueden quemar fácilmente. Como la determinación del Brix, a la temperatura de las mieles en las pailas, es un poco complicada y como la determinación de la pureza llevaría demasiado tiempo y es imposible realizarla cuando no se tiene un laboratorio químico, se ha buscado otra propiedad física que relacione las anteriores.

La temperatura de ebullición de las mieles depende de la presión atmosférica del lugar (relacionada con la altura sobre el nivel del mar), del Brix y de la pureza de las mieles.

El CIMPA ha encontrado que la temperatura de las mieles varía entre 116 y 122°C para panela moldeada en gaveras y entre 122 y 126°C para panela redonda moldeada con "coco". Lo anterior se cumple para lugares con altura sobre el nivel del mar superior a 1.000 metros. Cuando es inferior a este valor, la temperatura de ebullición se aumenta un poco (1 a 3°C).

BIBLIOGRAFIA

1. SPENCER, M., Manual de azúcar de la caña. Editorial Montaner y Simon S.A. España 1967.
2. GARCIA, H. Reinel. Pérdidas de Sacarosa en el Proceso de Elaboración de Panela. Publicación Científico-Técnica del ICA. Volumen XII, Número 2. 1978.
3. De Armas, C., y Gonzalez, L. La caña de azúcar como fuente de energía. Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba 1986.
4. HONIG. E., Principios de la tecnología azucarera. Editorial Continental. Méjico 1969.
5. MANUAL PARA EL DISEÑO Y OPERACION DE HORNILLAS PANELERAS. Centro de Investigación y Divulgación para el Mejoramiento de la Industria Panelera en Colombia, CIMPA. Barbosa - Santander. 1992.
6. ROTTA. , G. Hernando. En: Extracción y conservación del polímero del balso. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. 1.988.
7. CHAPARRO. , M, Luis R. En: Viabilidad y evaluación de clarificantes químicos tipo polímero en la elaboración de panela. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. 1989.
8. FAO/OMS. "Estudio biotoxicológico de agentes clarificantes".
9. POSADA, V., "Estudio físico, químico y toxicológico de panelas tratadas con hidrosulfito de sodio". Santafé de Bogotá 1978.
10. BARRERO, R., CEDIEL, L. "Coloración y enriquecimiento de la panela con vitamina A". Tesis de grado Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santafé de Bogotá 1984.