

**UNIVERSIDAD NACIONAL “TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA” DE AMAZONAS**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“EFECTO DEL ALCALINIZADO Y AGLUTINANTES VEGETALES
OBTENIDOS A PARTIR DEL “CADILLO” (*Triumfetta aff. mollissima* HBK) Y
“BALSO” (*Heliocarpus popayanensis* HBK) EN LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DE LA PANELA GRANULADA”**

Tesis Para optar el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

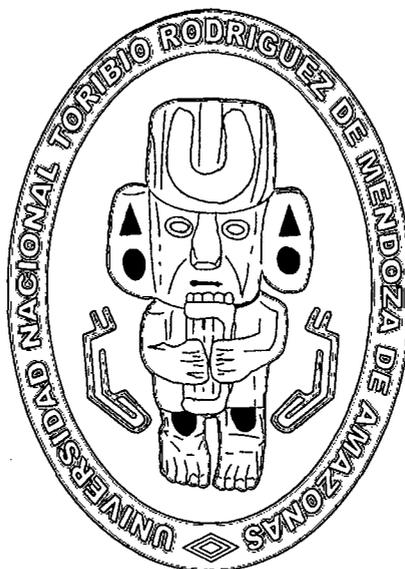
Br. IVES JULIAN YOPLAC TAFUR

CHACHAPOYAS - PERÚ

2008

**UNIVERSIDAD NACIONAL “TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA” DE AMAZONAS**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EFECTO DEL ALCALINIZADO Y AGLUTINANTES VEGETALES
OBTENIDOS A PARTIR DEL “CADILLO” (*Triumfetta aff. mollissima* HBK) Y
“BALSO” (*Heliocarpus popayanensis* HBK) EN LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO - QUÍMICAS DE LA PANELA GRANULADA.**

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Br. IVES JULIAN YOPLAC TAFUR

CHACHAPOYAS – PERÚ

2008

DEDICATORIA

A Dios ante todo.

A mis abuelos y padres, por su apoyo y por depositar su confianza en mí.

Al gran amor de mi vida: Yesica, quien con su apoyo incondicional, comprensión y cariño me da fuerza para el éxito de mi vida

A mi hermano Eisten (QPDYQDG), por su apoyo durante todos estos años que estuvo en vida. Que Dios le tenga en su Santa Gloria.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios.

Al Ing. Wilson Manuel Castro Silupu, por guiarme y asesorarme durante todo el tiempo de la presente tesis, quien además, ha sabido impartir en mí, conocimientos científicos y tecnológicos para mi formación profesional y así mismo con su ayuda voluntaria he podido llegar al éxito de esta investigación.

A todo el personal docente y técnicos de los diferentes laboratorios de la UNAT – Amazonas, por su apoyo y paciencia, durante la parte experimental y análisis realizados en la presente investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL “TORIBIO
RODRIGUEZ DE MENDOZA” DE AMAZONAS**

Dr. Juan Bautista Astorga Neyra

PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

Ing. Víctor Augusto Delgado Vélez

VICEPRESIDENTE ACADÉMICO DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

Dr. Jorge López Vergara

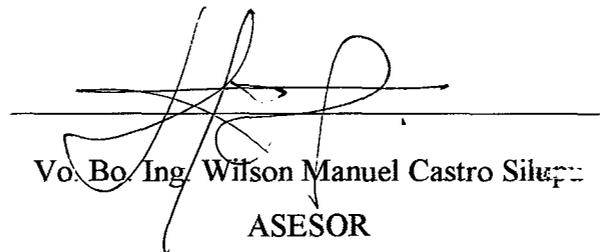
VICEPRESIDENTE ADMINISTRATIVO DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

Ing. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

COORDINADOR DE LA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

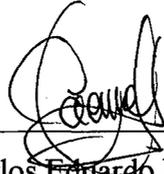
AGROINDUSTRIAL

LA PRESENTE TESIS HA SIDO ASESORADO POR:



Vo. Bo. Ing. Wilson Manuel Castro Silva
ASESOR

La presente tesis ha sido aprobada por el siguiente jurado:



MSc. Carlos Eduardo Millones Chanar

PRESIDENTE



Ing. Elena Victoria Torres Mamani

SECRETARIA



Ing. Miguel Ángel García Torres

VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
CARRERA PROFESIONAL DE Ingeniería Agroindustrial

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 17 de Abril del año 2008,
siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Msc. Carlos Eduardo Millones Chamame

Secretario: Ing. Elena Victoria Torres Mamani

Vocal: Ing. Miguel Ángel García Torres

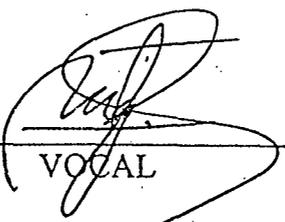
para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller,
don(ña) Ives Julían Yopac Tapur, titulado Efecto del
Alcalinizado y Aglutinantes Vegetales obtenidos a partir de "adiño"
(Triumfetta aff. mollissima HBK) y "Balso" (Heliconia papayanensis HBK)
en las Características Físico-químicas de la panela granulada.

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la (x) APROBACIÓN
() DESAPROBACIÓN, por () mayoría (x) unanimidad; en consecuencia, el(la)
aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de
Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 11:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de
sustentación del Informe de Tesis.


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iv
Vo. Bo. DEL ASESOR	v
Vo. Bo. DEL JURADO	vi
COPIA DE ACTA DE SUSTENTACIÓN	vii
INDICE	viii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS	7
2.2. EQUIPOS	7
2.3. MATERIALES	9
2.4. REACTIVOS	10
2.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	11

2.5.1. Preparación de insumos.	11
2.5.1.1. Obtención de ceniza de bagazo de caña de azúcar.	11
2.5.1.2. Obtención del aglutinante vegetal.	14
2.5.2. Preparación de muestras de panela granulada	15
2.5.2.1. Obtención de jugo de caña de azúcar	15
2.5.2.2. Obtención de panela granulada	17
2.5.3. Metodología Experimental	21
2.5.3.1. Aplicación del aglutinante natural y regulación de pH	23
2.5.3.2. Análisis físico – químicos	24
2.5.4. Análisis estadístico	26
III. RESULTADOS	30
3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE PANELA GRANULADA	30
3.1.1. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de humedad de panela granulada	32
3.1.2. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de cenizas de panela granulada	33
3.1.3. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de azúcares reductores de panela granulada	35

3.1.4. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el color de panela granulada	38
3.1.5. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de sólidos insolubles de panela granulada	40
3.1.6. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el rendimiento de panela granulada	42
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PANELA GRANULADA	44
3.3. COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICO – QUÍMICAS DE LA PANELA GRANULADA	47
IV. DISCUSIONES	48
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1: Formulación de la aplicación fraccionada del aglutinante natural para la preparación de la panela granulada	23
Cuadro 2.2: Formulación para la preparación de panela granulada con aglutinante natural de cadillo	23
Cuadro 2.3: Formulación para la preparación de panela granulada con aglutinante natural de balso	24
Cuadro 2.4: Formulación promedio para la preparación de panela granulada con aglutinante natural de cadillo y balso	24
Cuadro 2.5: Relación de los tratamientos en el estudio	27
Cuadro 3.1: Composición físico – química de panela granulada, a los diferentes tratamientos en estudio aplicados	31
Cuadro 3.2: Composición físico – química de la panela granulada con cadillo y balso	46
Cuadro 3.3: Comparación de las características físico- químicas de la panela granulada obtenidas, con los requisitos propuestos por otras instituciones	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 2.1. Diagrama de bloques para la obtención de ceniza de bagazo de caña de azúcar	12
Gráfico 2.2. Diagrama de bloques para la obtención del aglutinante vegetal	14
Gráfico 2.3. Diagrama de bloques para la obtención de Jugo de caña de azúcar	16
Gráfico 2.4. Diagrama de bloques para la preparación de panela granulada	18
Gráfico 2.5: Esquema experimental de la obtención de panela granulada	22
Gráfico 3.1: Contenido promedio de humedad de la panela granulada, según los tratamientos estudiados	32
Gráfico 3.2: Contenido promedio de cenizas de la panela granulada, según los tratamientos estudiados	33
Gráfico 3.3: Contenido promedio de cenizas de panela granulada, en función del tipo de aglutinante y nivel de pH	35
Gráfico 3.4: Contenido promedio de azúcares reductores de la panela granulada, según los tratamientos estudiados	35

Gráfico 3.5: Contenido de azúcares reductores de panela granulada, en función del tipo de aglutinante	37
Gráfico 3.6: Contenido de azúcares reductores de panela granulada, en función del tipo de aglutinante y nivel de pH	38
Gráfico 3.7: Valor del color de la panela granulada, según los tratamientos estudiados	38
Gráfico 3.8: Valoración del color de la panela granulada en función del tipo de aglutinante y el nivel de pH	40
Gráfico 3.9: Contenido promedio de sólidos insolubles de la panela granulada, según los tratamientos estudiados	41
Gráfico 3.10: Rendimiento promedio de panela granulada, según tipo de aglutinante	42
Gráfico 3.11: Rendimiento promedio de panela granulada, según tipo y concentración del aglutinante	43
Gráfico 3.12: Rendimiento promedio de panela granulada, según tipo de aglutinante y nivel de pH	43

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del alcalinizado y de dos aglutinantes vegetales obtenidos a partir del “cadillo” (*Triumfetta aff. mollissima* HBK) y del “balso” (*Heliocarpus popayanensis* HBK) en las características fisico-químicas de la panela granulada y realizar la caracterización fisico-química completa de las muestras de panela granulada que se aproximan a los requisitos de la Norma Sanitaria de Colombia.

La metodología experimental consistió en la extracción del jugo de caña de azúcar, filtrado, clarificación dividido en la adición del aglutinante vegetal (cadillo y balso) y regulación del pH (con ceniza de bagazo de caña de azúcar), evaporación – concentración y batido hasta la cristalización, lo que permitió obtener la panela granulada. Se usaron los aglutinantes vegetales a tres diferentes concentraciones (1,5; 2,5 y 3,5 %) y el uso del regulador para obtener valores de pH a dos niveles (6,0 y 6,8). El diseño estadístico empleado para el análisis de los resultados fue del tipo factorial 2Ax3Bx2C, con arreglo en Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 repeticiones.

La aplicación de los diferentes tratamientos produjo contenidos de humedad entre 2,18 a 3,73 %, cenizas de 1,51 a 2,41 %, azúcares reductores de 0,37 a 1,01 %, color entre 900,62 a 1622,43 UI y sólidos insolubles entre 0,64 a 1,17 %; determinándose que al incrementar el pH del jugo de la caña de azúcar, se produjo aumentos principalmente en los contenidos de ceniza y valores de color.

Para la selección de los dos mejores tratamientos (uno con cadillo y otro con balso), se tuvo en cuenta que sus características fisico - químicas estén dentro de los requisitos de calidad establecidos por la Resolución n.º 002284 del Ministerio de Salud de Colombia

(1995) y adicionalmente se consideró criterios técnicos como la selección de variables dependientes determinantes (variables respuesta), eligiéndose para la presente investigación los tratamientos que presentaron el menor contenido de sólidos insolubles y el menor valor de color. Estos dos tratamientos seleccionados, fueron: tratamiento 3 donde se usó cadillo a una concentración de 2,5 % a pH de 6,0 y el tratamiento 7 donde se usó balso a una concentración de 1,5 % a pH de 6,0; siendo este último el mejor de ambos. Una vez elegido los dos mejores tratamientos se complementó la caracterización físico – química, con la determinación de proteínas, sacarosa, grasa, °brix y pureza.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the effect of the alcalinizado and of two vegetable agglutinants obtained from "cadillo" (*Triumfetta aff. mollissima* HBK) and "balso" (*Heliocarpus popayanensis* HBK) in the physical-chemical characteristics of the granulated panela and to carry out the complete physical-chemistry characterization of the granulated panela that its approach to the requirements of the Colombian Sanitary Norm.

The experimental methodology consisted in extraction of the juice of sugar cane, filtrate, clarification divided in the addition of the vegetable agglutinant (cadillo and balso) and regulation of the pH (with ash of sugar cane), evaporation - concentration and beated until the crystallization, its allowed obtain the granulated panela. The vegetable agglutinants were used to three different concentrations (1,5; 2,5 and 3,5%) and the use of the regulator to obtain pH values at two levels (6,0 and 6,8). The design statistical employee for the analysis of the results was of the factorial type $2A \times 3B \times 2C$, with arrangement in Totally Randomized Design with 3 repetitions.

The application of the different treatments produced contents of humidity among 2,18 to 3,73%, ashes of 1,51 to 2,41%, sugars reducers of 0,37 to 1,01%, colour among 900,62 to 1622,43 UI and insoluble solids among 0,64 to 1,17%; being determined that when increasing the pH of the juice of the cane of sugar its increases mainly The contents of ash and color values.

For the selection of the two better treatments (one with cadillo and another with balso), one kept in mind that their physical-chemical characteristics are inside the established requirements of quality for the Resolution n.º 002284 of the Ministry of Health of

Colombia (1995) and additionally it was considered technical approaches as the selection of variables decisive clerks (variable answer) that was chosen the treatments that presented the smallest content of insoluble solids and the smallest colour value for the present investigation. These two, selected treatments, were: treatment 3 where cadillo was used to a concentration of 2,5% to pH of 6,0 and treatment 7 where balso was used to a concentration of 1,5% to pH of 6,0; the latter being the best of both worlds. Once elect the two better treatments were completed the physique - chemistry characterization, with the determination of proteins, sucrose, fat, °brix and purity.

I. INTRODUCCIÓN

La inserción de América Latina y el Caribe en el mercado internacional ha constituido en las dos últimas décadas uno de los principales propósitos de los gobiernos de la región. En este contexto la Agroindustria Rural (AIR) en la región, por su carácter de encadenamiento y articulación a las cadenas de producción, constituye un elemento clave en las posibilidades de las pequeñas unidades productivas agrícolas para mantener o aumentar su participación en los mercados de una manera más dinámica, sostenible y rentable, mediante la realización de actividades de transformación y agregación de valor de las materias primas agrícolas a nivel campesino, una de estas actividades es la agroindustria de la panela (FAO, 2004).

La agroindustria de la panela es una actividad económica que permite diversificar la generación de ingresos al nivel de finca. La unidad productora de panela constituye un sistema integrado verticalmente en el que el productor campesino participa tanto en la producción de la caña, en su transformación en panela y en la venta del producto. El carácter de verticalidad de la agroindustria panelera ha facilitado el desarrollo de estrategias de subsistencia más eficaces y flexibles que las generadas en las actividades de transformación de tipo horizontal o producción primaria (FAO, 2004).

La FAO indicó que son 25 los países que producen panela; sin embargo, esta producción en el mundo presenta un lento crecimiento, del 1,1 % anual entre 1999 y 2005 y solamente 6 países presentan crecimientos por encima de ese promedio, que son: India, Colombia, Uganda, Panamá, Myanmar, Indonesia. La producción de panela en el mundo según la FAO para el año 2005, el primer país productor es la India con una participación porcentual del 68,7 %, con 9 307 TM/año; en segundo lugar está Colombia con una participación porcentual del 10,4 % con 1 405 TM/año; el Perú se

encuentra en el décimo tercer lugar junto a Kenia, ambos con una participación porcentual del 0,2 % con una producción de 25 TM/año. A nivel mundial, la FAO ha estimado para el año 2005 que en promedio en el mundo se consumió 4,3 kg/hab. por año, en donde el país con mayor consumo per cápita fue Colombia con 33,9 kg/hab. por año, seguido por la India con 10,1 kg/hab. por año, el Perú se encuentra en el noveno lugar con un consumo per cápita de 1,1 kg/hab. por año. FAO 2004 (Citado por Panduro, 2007).

Hoy en día, en los mercados internacionales, la demanda de este producto (panela) tiene un crecimiento ascendente, siendo dirigidos a mercados especiales como orgánicos y de comercio justo que son muy competitivos ya que brindan estabilidad a los precios del producto (Panduro, 2007).

En Perú, la producción de panela registrada en el año 2005 es de 25 TM, con una participación del 0,2 % de la producción mundial. La única empresa que exporta panela al mercado europeo y vende a nivel local es CEPICAFE¹; cuyo mercado de destino es Europa, con 71 % dirigido a Italia y 29 % a Francia. SUNAT, 2006 (Citado por Panduro, 2007).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los principales cultivos de la región Amazonas, siendo la provincia de Rodríguez de Mendoza la que cuenta con la mayor superficie cultivada, con un promedio de 0,5 hectáreas de cultivo por familia (FONCODES, 2006). La caña de azúcar es utilizada por los pobladores para la obtención de aguardiente, chancaca y panela; esta última, es obtenida de manera artesanal y es considerada una agroindustria rural tradicional.

¹ CEPICAFE: Central Piurana de Cafetaleros

“En varios estudios experimentales se ha demostrado que para fabricar panela con estándares de calidad y aceptación adecuada, el pH óptimo de los jugos debe ser 5,8. Un pH muy alto (básico) produce panelas de coloración oscura, lo cual se atribuye a la formación de sacaratos de calcio; por el contrario si el pH es inferior, se incrementa las reacciones enzimáticas de inversión de la sacarosa y origina panelas blandas. Baquero *et al.*, 1997” (Citado por Segura, 2003).

La limpieza y clarificación en el jugo de caña al llegar entre los 40 y 60 °C; se le agrega un regulador de pH que permita regular el pH del jugo desde 5,2 a 6,8, para la formación de películas denominadas cachaza, las cuales son retirada de la paila con la ayuda de utensilios llamados descachazadores (CEPICAFE, 2006).

FONCODES (2005), indica que, en la elaboración de panela granulada, específicamente en la etapa de clarificación, al final del calentamiento de los jugos se realiza el descachazado de los mismos, en esta operación se eliminan impurezas, al finalizar el descachazado se realiza la regulación de los jugos, agregando un destilado de ceniza para elevar el pH del jugo. Para obtener panela de calidad y con buena cristalización, hay que tener un pH cercano a 7,0.

Los cañicultores y trapicheros de la localidad de Zubiateguio, provincia de Rodríguez de Mendoza, manifiestan que para la elaboración de la chancaca granulada están usando preferentemente la ceniza del bagazo de caña en la etapa de clarificación y regulación de pH, esta ceniza del bagazo de caña es un residuo que se obtiene al ser usado como fuente de energía en la etapa de evaporación y concentración de la chancaca granulada, en los hornos paneleros (Comunicación personal, Santillán y Gil, 2006).

Para la eliminación sólidos insolubles e impurezas en el jugo de caña se puede usar mucílagos vegetales como son balso (*Heliocarpus popayanensis* HBK), cadillo (*Triumfetta aff. moliissima* HBK) y guásimo (*Guazuma ulmifolia* L). Prada, 2002 (Citado por Segura, 2003).

Prada (2002), indica que: “el efecto de los aglutinantes en la clarificación, consistió en un sistema de limpieza que consta de una prelimpieza, un aumento en la velocidad de calentamiento durante la clarificación de los jugos a 3° C/min y la adición del aglutinante bajo las condiciones óptimas de trabajo encontradas y la adición del 2,5 % de aglutinante dosificado en 1,5 % cuando los jugos alcanzan los 50° C y el resto a los 70° C. Los aglutinantes se prepararon disgregando en un litro de agua a 50° C, 125 g corteza de las ramas maceradas”.

En Colombia, las normas sanitarias sobre la panela se rigen mediante la Resolución n.º 002284 del 27 de junio de 1995, expedida por el Ministerio de Salud cuyos principales aportes se presentan en tres artículos, en el artículo primero se describen las principales definiciones relacionadas a la panela, en el artículo segundo se ocupa de la clasificación de la panela y en el artículo tercero se describen los requisitos físico-químico de la panela (Citado por Segura, 2003). Mostrados en el anexo D (Cuadro D.1).

En la actualidad el consumidor exige productos nutricionales, saludables, de fácil y rápida preparación. La panela cumple con los dos primeros conceptos, al contener una gama variada de azúcares, minerales, proteínas y algunas vitaminas que aportan niveles significativos de nutrientes al consumidor. Cuando la panela es elaborada con los principios higiénicos y la BPM² que requiere un alimento, es saludable para el organismo humano; pero, cuando se le agregan sustancias no permitidas, como

² BPM: Buenas Prácticas de Manufactura

blanqueadores y colorantes, se vuelve nociva para el consumidor; así mismo la panela tradicional (Chancaca) presentada en forma de bloques y empacada en hojas de caña, plátano, en costales de fique, o en costales usados se puede contaminar con hongos, u otros microorganismos, residuos vegetales, excrementos de roedores, insectos, aromas y sabores adquiridos en los medios de transporte y las bodegas, estos contaminantes además de ser nocivos para la salud del consumidor, ofrecen una apariencia desagradable y de desaseo que aleja a los compradores, lo cual afecta significativamente el futuro de los productores de panela. La panela granulada es una nueva y moderna forma de presentación para un producto tradicional, ecológico y de tendencia de consumo actual (CORPOICA, 2007).

La panela granulada es un producto orgánico que durante todas las etapas del proceso productivo, desde el cultivo de la caña (materia prima) hasta el producto final, no utiliza ningún tipo de producto químico o sintético, razón por la cual se está incrementando su demanda a nivel nacional e internacional. Sin embargo, la tecnología productiva de la panela granulada a nivel nacional, y más aún la región Amazonas, enfrenta diversos problemas, entre los que destaca la etapa de clarificación del proceso, debido a que no se cuenta con una estandarización en el uso de reguladores de pH del jugo de la caña, uso de floculantes vegetales como el cadillo y el balso, que permitan eliminar al máximo los sólidos insolubles en suspensión y eliminar impurezas; elementos que tienen un efecto directo sobre la calidad del producto final.

Frente a esta problemática nace la inquietud para realizar el presente trabajo de investigación pretendiendo desarrollar una adecuada tecnología que permita mejorar el manejo de la etapa de clarificación, por consiguiente obtener un producto final con las características físico-químicas que requiere el mercado nacional e internacional, de esta

manera darle un mayor valor agregado a la materia prima y, finalmente, mejorar los ingresos de los pequeños productores artesanales de Rodríguez de Mendoza que se dedican a esta actividad.

El problema planteado, concordante a la realidad problemática, para la presente investigación es: ¿Cómo influencia el alcalinizado y los aglutinantes vegetales obtenidos a partir del “cadillo” (*Triumfetta aff. mollissima* HBK) y “balso” (*Heliocarpus popayanensis* HBK) en las características fisico-químicas de la panela granulada?

Los objetivos propuestos son:

- Evaluar el efecto del alcalinizado y los aglutinantes vegetales obtenidos a partir del “cadillo” (*Triumfetta aff. mollissima* HBK) y “balso” (*Heliocarpus popayanensis* HBK) en las características fisico-químicas de la panela granulada.
- Realizar la caracterización fisico-química de las muestras de panela granulada que se aproximan a los valores de la Norma Sanitaria de Colombia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS

Para la presente investigación se empleó como materia prima plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la variedad CH – 37, provenientes del distrito de Huambo, provincia de Rodríguez de Mendoza, cosechadas en el año 2007, que tenían una altura entre 2,15 m y 3,23 m y diámetro de tallo entre 3,34 cm y 3,95 cm; a partir de los cuales se extrajo el jugo cuyas características físico – químicas se muestran en el anexo E (Cuadro E.1); asimismo se empleó ceniza de bagazo de caña, solución de tallo y hojas de cadillo y solución de corteza y hojas de balso.

Los ensayos respectivos para la obtención de panela y los análisis físico – químicos fueron realizados en el Laboratorio de Tecnología Agroindustrial de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; y la determinación de sacarosa y cenizas conductimétricas, en el Laboratorio de Control de Calidad del Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A., La Libertad.

2.2. EQUIPOS

- Agitador magnético. Marca QUIMIS. Agitador y transferencia de calor
- Balanza analítica. Capacidad max. 210 g ó 1 kg, aprox. $\pm 0,1$ g
- Balanza comercial. Capacidad 5 ó 7 kg, aprox. ± 1 g
- Balanza de humedad. AMB MOISTURE BALANCE. Rango 50 g. aprox. $\pm 0,01$ %

- Bomba de vacío. Capacidad 0 – 30 plg de Hg. (Sistema de filtración al vacío)
- Cocina semi – industrial. 3 hornillas
- Cocina eléctrica
- Conductímetro. rango 400 – 500 Micromhos
- Cronómetro digital doble pantalla LCD, precisión $\pm 0,01 \%$
- Destilador semiautomático para determinación de nitrógeno y proteína. Marca RAYPA DNP 2000
- Digestor: Sistema completo de digestión. Marca RAYPA
- Equipo Soxhlet, capacidad 250 ml
- Espectrofotómetro. Modelo Genesys 10 VIS. Rango 0 – 20 A. aprox. 1 nm
- Estufa. Rango 30 – 200° C. aprox. 1° C
- Molino de caña de dos masas. Artesanal manual³
- Mufla. Temperatura rango de 0 – 1200° C. Capacidad 5 l
- pH metro (potenciómetro). Rango 0 – 14, aprox. 0,01
- Refractómetro de mesa. Rango 0 – 90° Bx, aprox. 0,01
- Refractómetro digital. 0 – 45 %. Mide índice de refracción y temperatura. Aprox. $\pm 0,01 \%$
- Refrigeradora sistema no frost. Control de temperatura electrónica. Panel eléctrico de control. Sistema antibacteriano
- Sacarímetro. Rango 0 – 100° S
- Selladora eléctrica. 50 cm
- Termómetro escala externa. Rango -10 a 250° C, aprox. 1° C

³ La imagen de molino artesanal manual de 2 masas se muestra en el Anexo F.

2.3. MATERIALES

- Agitador de vidrio (bagueta)
- Balón de vidrio borosilicato fondo plano de 100 ml
- Balón de vidrio borosilicato fondo plano de 250 ml
- Bolsas de polipropileno, capacidad 500 g
- Bombilla para pipetear
- Bureta graduada de 50 ml
- Colador de cobre
- Crisol de porcelana forma alta 24 ml
- Cucharas de acero inoxidable, pequeñas y medianas
- Cuchara con medida plástica o de acero inoxidable
- Cucharón de madera mediana
- Desecador con tapa botón de vidrio y disco de porcelana x 4 l
- Embudo de vidrio tallo corto de 75 mm
- Espátula de acero inoxidable con mango de madera de 50 mm
- Etiquetas autoadhesivas de 4 x 2 cm
- Fiola con tapa de vidrio de 50 ml
- Fiola con tapa de vidrio de 100 ml
- Frasco de vidrio boca ancha con tapa rosca de 1 l
- Frasco de vidrio boca ancha con tapa rosca de 2 l
- Matraz erlenmeyer de 100 ml
- Matraz erlenmeyer de 250 ml
- Matraz erlenmeyer de 1000 ml
- Mortero porcelana de 250 ml y pilón
- Ollas de aluminio

- Paleta de madera
- Papel filtro cualitativo de velocidad lenta
- Papel filtro cuantitativo Double Ring N° 202.
- Papel para limpiar celda (Tissue u otro no áspero)
- Pinza grampa para 2 buretas
- Pinza tenaza para erlenmeyer con vinil x 40 mm
- Pipetas serológicas graduadas de 1 ml
- Pipetas serológicas graduadas de 5 ml
- Pipetas serológicas graduadas de 10 ml
- Placa petri de vidrio borosilicato con fondo y tapa de 60 x 15 mm
- Probeta graduada de vidrio de 100 ml
- Probeta graduada de vidrio de 500 ml
- Probeta graduada de vidrio de 1 l
- Soporte universal de metal: base plana y varilla
- Vaso de precipitación graduado de 50 ml
- Vaso de precipitación graduado de 100 ml
- Vaso de precipitación graduado de 250 ml
- Vaso de precipitación graduado de 600 ml
- Vaso de precipitación graduado de 1000 ml
- Zaranda con diámetro de poro de 2 mm

2.4. REACTIVOS

- Ácido acético 5.0 N
- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada y/o desionizada

- Agua desionizada de conductividad conocida (baja $< 5 \mu S$)
- Almidón al 1,0 % w/v
- Carbonato de sodio anhidro
- Éter de petróleo
- Hexano
- Hidróxido de sodio
- Sub acetato de plomo
- Solución de NaOH 0,1 N
- Solución de Muller
- Tiosulfato de sodio 0,0333 N
- Yodo 0,0333 N

2.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental en la presente investigación fue de la siguiente manera: preparación de insumos (Ceniza de bagazo de caña de azúcar y aglutinantes vegetales), preparación de panela granulada (obtención de jugo de caña de azúcar y obtención de panela granulada) y análisis físico – químicos de las muestras obtenidas de panela granulada.

2.5.1. Preparación de insumos.

2.5.1.1. Obtención de ceniza de bagazo de caña de azúcar.

La obtención de la ceniza de bagazo de caña de azúcar se realizó según la secuencia que se indica en el Gráfico 2.1.

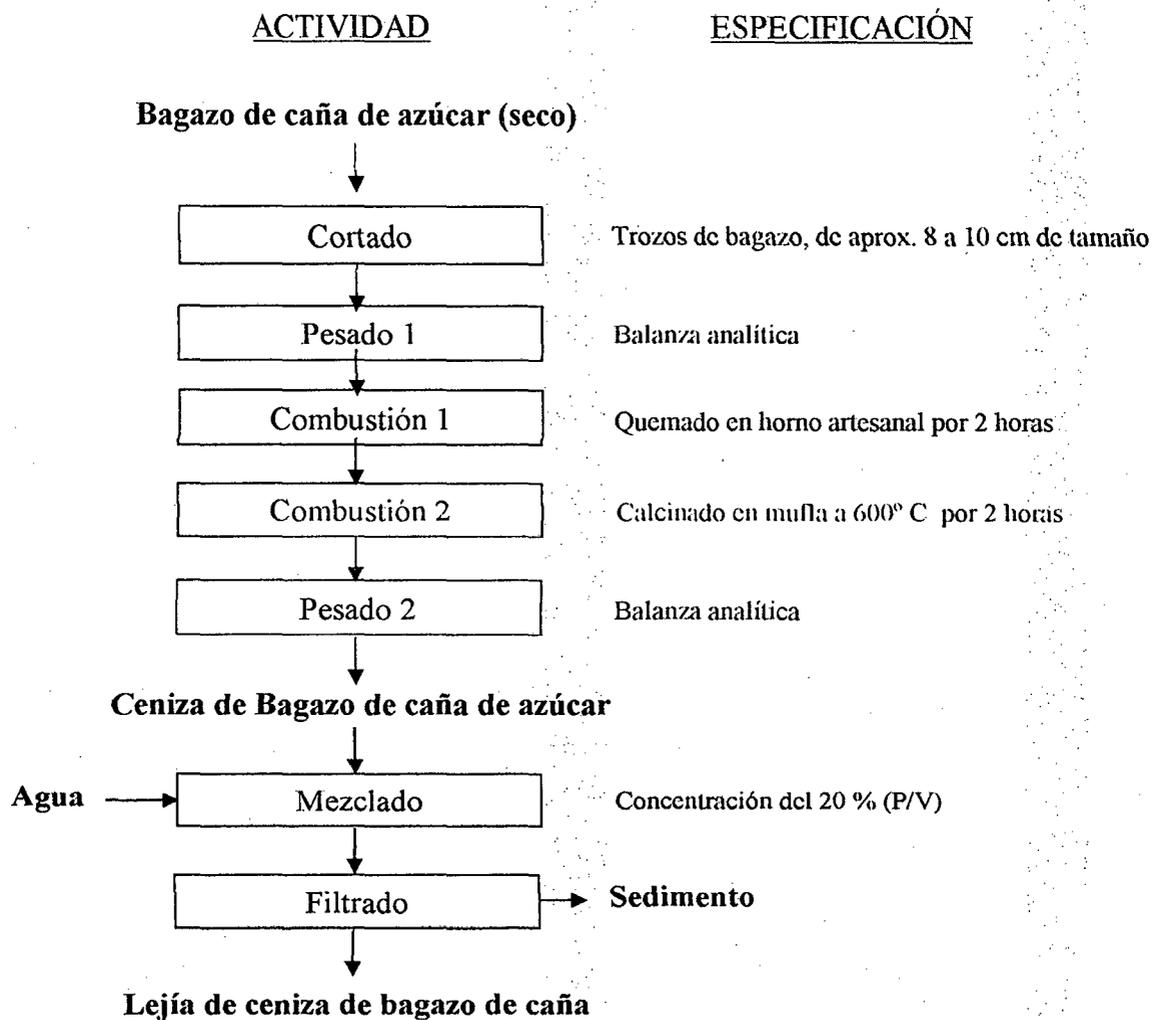


Gráfico 2.1: Diagrama de bloques para la obtención de ceniza de bagazo de caña de azúcar

Las actividades realizadas en cada etapa se describen a continuación:

Cortado

Operación manual que consistió en la división del bagazo en pequeños trozos de aproximadamente 8 a 10 cm, con la ayuda de un machete; para acelerar el proceso de combustión.

Pesado 1

Los trozos de bagazo de caña fueron pesados en una balanza analítica, antes del proceso de combustión

Combustión 1

Se realizó en un horno artesanal, por dos horas, a 150 – 200° C aproximadamente.

Combustión 2

Se realizó en un horno mufla a 600° C por dos horas.

Pesado 2

La ceniza obtenida fue pesada en una balanza analítica, con la finalidad de obtener el rendimiento de la ceniza a partir del bagazo de caña de azúcar.

Mezclado

La ceniza obtenida se mezcló con agua destilada, a una concentración del 20 % (Peso/Volumen), se agitó bien y dejó reposar por 15 minutos.

Filtrado

La mezcla sedimentada se filtró en papel filtro rápido; obteniéndose la lejía de ceniza de bagazo, la cual se envasó en botellas de vidrio limpias para su posterior uso en el proceso.

2.5.1.2. Obtención del aglutinante vegetal.

La obtención del aglutinante de cadillo y balso se realizó según la secuencia que se indica en el Gráfico 2.2.

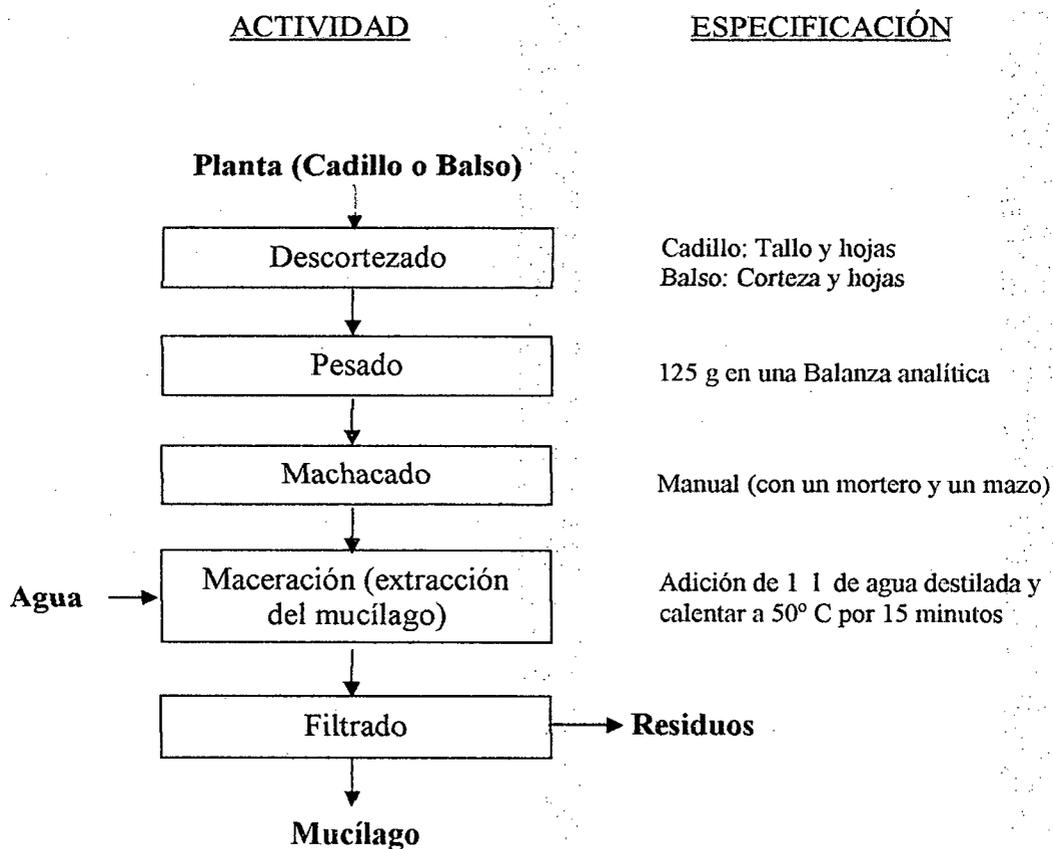


Gráfico 2.2: Diagrama de bloques para la obtención del aglutinante vegetal

Las actividades realizadas en cada etapa se describen a continuación:

Descortezado

Operación realizada manualmente, con la ayuda de un cuchillo (cadillo se utilizó tallo y hojas; balso se utilizó corteza y hojas).

Pesado

Se pesaron 125 g de las muestras en una balanza analítica.

Machacado

Los vegetales pesados fueron machacados utilizando un mortero y un mazo para aumentar la extracción del mucílago.

Extracción del mucílago (maceración)

Los vegetales machacados se depositaron en un vaso de precipitación de 1000 ml, se añadió 1 litro de agua destilada y se llevó a calentar a 50° C en una cocina eléctrica por 15 minutos, posteriormente se dejó reposar para aumentar la eficiencia de extracción del mucílago.

Filtrado

Por último se procedió a filtrar en un colador para retirar las impurezas, el producto final obtenido se almacenó en una botella ámbar limpia para su posterior uso en el proceso.

2.5.2. Preparación de muestras de panela granulada

A continuación se describe el procedimiento que se siguió para la preparación de muestras de la panela granulada.

2.5.2.1. Obtención de jugo de caña de azúcar

La obtención del jugo de caña de azúcar se realizó según la secuencia que se indica en el Gráfico 2.3.

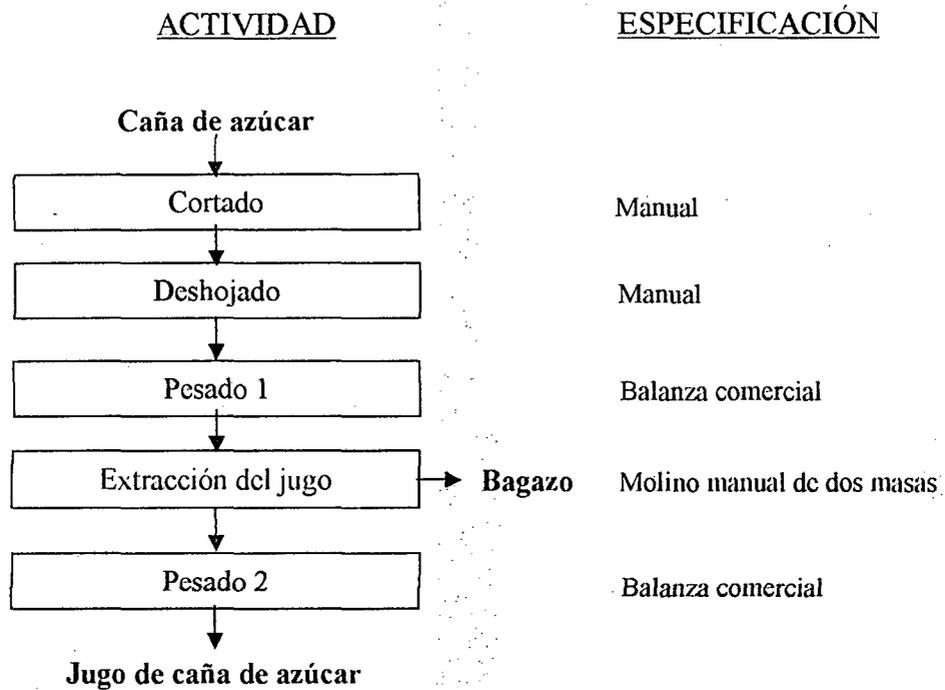


Gráfico 2.3: Diagrama de bloques para la obtención de Jugo de caña de azúcar

Las actividades realizadas en cada etapa se describen a continuación:

Cortado

Las plantas de caña de azúcar provenientes de la provincia de Rodríguez de Mendoza, distrito de Huambo, se cosecharon selectivamente teniendo en cuenta °brix y pH; los cuales se llevaron a los laboratorios de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAT – Amazonas para el respectivo procesamiento.

Deshojado

El deshojado completo se realizó manualmente.

Pesado 1

Las cañas deshojadas se pesaron en una balanza comercial.

Extracción del jugo (molienda)

Operación realizada en un molino artesanal manual de dos masas, obteniéndose el guarapo o jugo crudo como materia prima principal y bagazo húmedo.

Pesado 2

El jugo obtenido fue pesado en una balanza comercial; con la finalidad de obtener el rendimiento promedio del jugo.

2.5.2.2. Obtención de panela granulada

La obtención de muestras de panela granulada siguió la secuencia que se indica en el Gráfico 2.4.

Las actividades realizadas en cada etapa se describen a continuación:

Pesado 1

Se obtuvieron y midieron volumétricamente 3 litros de jugo de caña, los cuales se pesaron y cuya medida fue considerada en todas las muestras.

Filtrado 1

El jugo pesado se procedió a filtrar en un colador de malla doble (< 0.5mm), con la finalidad de retener el bagacillo y sólidos insolubles.

Clarificación

La etapa de clarificación se le subdividió en 2 etapas:

1ra. Etapa: consistió en agregar la solución del aglutinante vegetal, de acuerdo a los tratamientos en estudio, aplicados en 2 partes: la primera parte a los 50° C y la segunda a los 80° C.

2da Etapa: consistió en la regulación del pH (alcalinizado), donde se adicionó la solución de ceniza de bagazo de caña, también de acuerdo a los tratamientos en estudio, a una temperatura entre 85 – 90° C.

Filtrado 2

A una temperatura de 90° C se procedió al retiro de la cachaza que flotó en la parte superior de la solución, con la ayuda de un colador metálico.

Evaporación y concentración

Durante todo este proceso el calor se mantuvo constante y además con la ayuda de un colador se siguió retirando la cachaza blanca remanente, convirtiéndose el jugo en miel. Cuando la miel alcanzó la temperatura de 130 – 135° C (punto de cristalización) se pasó a un recipiente amplio de aluminio.

Batido y enfriamiento

Con una paleta se agitó la miel por un tiempo de 1 – 2 min, luego se dejó en reposo por 1 min, donde se observó que las mieles empezaron a aumentar de volumen en el recipiente, debido al aire incorporado. Luego se siguió batiendo hasta lograr una granulación total.

Secado

Realizado a temperatura ambiente por un tiempo aproximado de 15 minutos

Tamizado

Luego para una mejor homogenización del producto, se procedió a tamizar manualmente en una zaranda de 2 mm de diámetro, donde se obtuvo la panela granulada.

Pesado 2

El producto final se pesó en una balanza analítica con la finalidad de obtener el rendimiento de la panela.

Sellado

Inmediatamente se procedió al envasado manual en bolsas estériles de polietileno (7 x 10 x 2 cm), las mismas que fueron selladas con la ayuda de un sellador eléctrico para material plástico.

Etiquetado

Las muestras envasadas fueron etiquetadas con cintas autoadhesivas colocando la identificación para cada envase como: tipo de floculante, concentración de floculante y nivel del pH.

Finalmente, cada muestra envasada fueron sometidas a una evaluación físico-química (% de sólidos insolubles, % de azúcares reductores, % de cenizas, % de humedad y color); la muestra evaluada que presentó valores similares a los parámetros de la norma técnica sanitaria colombiana para panela, y que además coincidió con el criterio técnico tomado en cuenta (variables respuestas determinantes: menor % de sólidos insolubles y menor valor de color), se caracterizó físico-químicamente (% de sólidos insolubles, % de azúcares reductores, % de cenizas, % de humedad, color, % brix, % sacarosa, pureza, % de proteínas, % de grasas).

2.5.3. Metodología Experimental

El esquema experimental de la investigación se muestra en el Gráfico 2.5, a través del cual se explica como se han desarrollado los objetivos de la presente investigación.

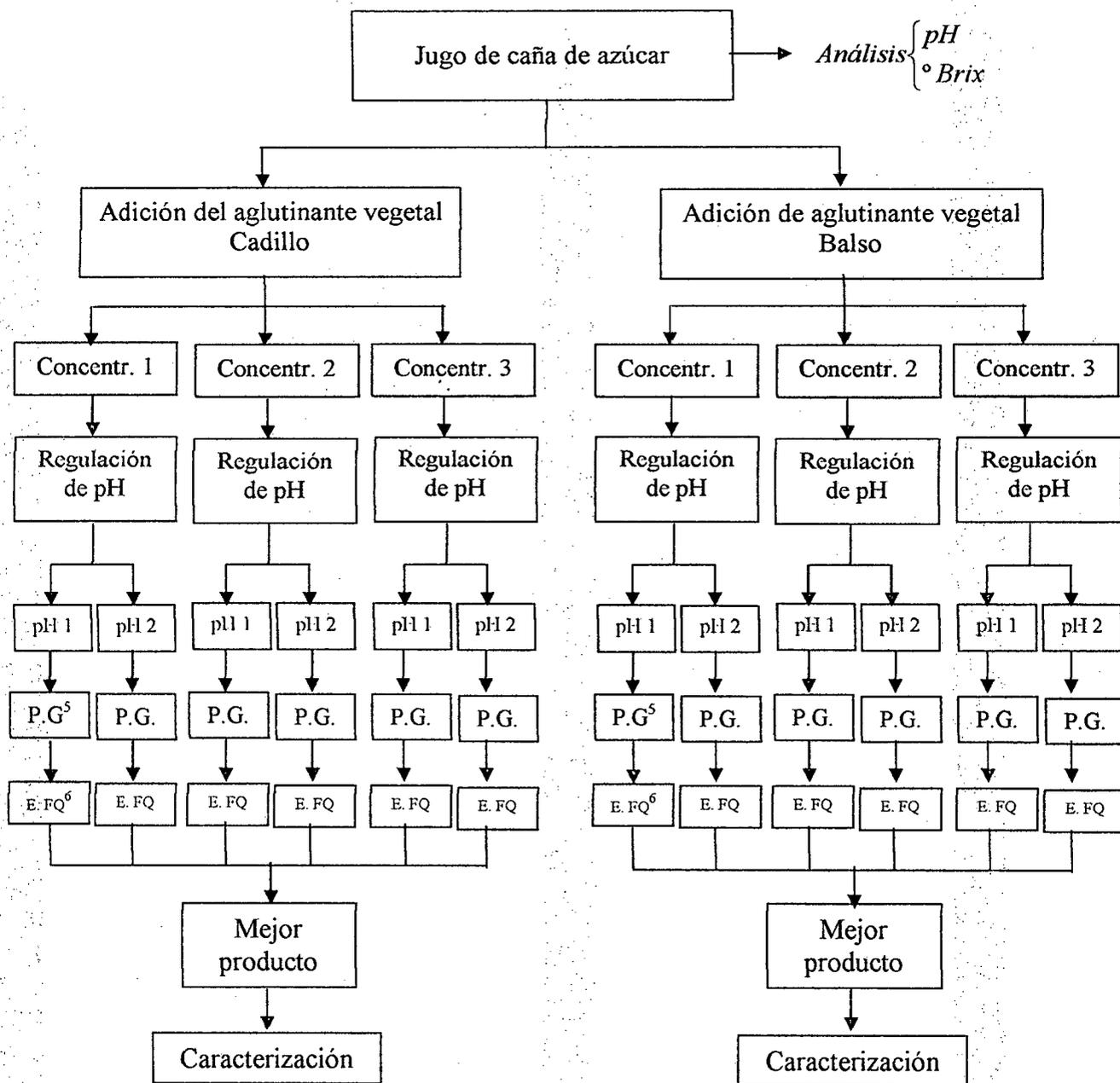


Gráfico 2.5: Esquema experimental de la obtención de panela granulada

E. F-Q.: Pruebas físicas: Color, % de humedad, % de sólidos insolubles.

Pruebas químicas: % de azúcares reductores, % de cenizas.

C. F-Q.: Pruebas físicas: Color, % de humedad, % de sólidos insolubles, % sólidos solubles (°Brix),

Pruebas químicas: % de azúcares reductores, % de cenizas, % de sacarosa, % de pureza, % de proteínas, % de grasas.

⁴ P.G.: Panela granulada

⁵ E. FQ.: Evaluación Físico-química

2.5.3.1. Aplicación del aglutinante natural y regulación del pH

Los 12 tratamientos fueron desarrollados de forma aleatoria tal como se muestra en el anexo A (Cuadro A.1). La aplicación del aglutinante natural se realizó a tres concentraciones diferentes comprendidas entre 1,5 a 3,5 % (v/v⁶), tal como se indica en los Cuadros 2.1 al 2.4. La regulación del pH que se realizó a una temperatura de 90° C hasta alcanzar un pH de 6,0 y 6,8; se realizó aplicando lejía de ceniza de bagazo de caña de azúcar de acuerdo a lo indicado en los Cuadros 2.2 y 2.4.

Cuadro 2.1: Formulación de la aplicación fraccionada del aglutinante natural para la preparación de la panela granulada

CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE ⁷	TEMPERATURA DE APLICACIÓN		TOTAL
	50° C	80° C	
1,50 %	30,00	15,00	45,00
2,50 %	45,00	30,00	75,00
3,50 %	60,00	45,00	105,00

Cuadro 2.2: Formulación para la preparación de panela granulada con aglutinante natural de cadillo

INSUMOS		FORMULACIÓN 1 (PARA pH = 6,0)	FORMULACIÓN 2 (PARA pH = 6,8)
Jugo de caña (l)		3,00	3,00
Aglutinante de cadillo	al 1,50 % (ml)	45,00	45,00
	al 2,50 % (ml)	75,00	75,00
	al 3,50 % (ml)	105,00	105,00
Lejía de ceniza de bagazo de caña ⁸ (ml)		74,44	179,44

⁶ (v/v): volumen / volumen.

⁷ Para ambos aglutinantes naturales como el cadillo y el balso.

⁸ Se realizó una solución al 20 % y las cantidades de cada formulación es un promedio de las repeticiones.

Cuadro 2.3: Formulación para la preparación de panela granulada con aglutinante natural de balso

INSUMOS		FORMULACIÓN 1 (PARA pH = 6,0)	FORMULACIÓN 2 (PARA pH = 6,8)
Jugo de caña (l)		3,00	3,00
Aglutinante de balso	al 1,50 % (ml)	45,00	45,00
	al 2,50 % (ml)	75,00	75,00
	al 3,50 % (ml)	105,00	105,00
Lejía de ceniza de bagazo de caña (ml)		63,67	200,56

Cuadro 2.4: Formulación promedio para la preparación de panela granulada con aglutinante natural de cadillo y balso

INSUMOS		FORMULACIÓN 1 (PARA pH = 6,0)	FORMULACIÓN 2 (PARA pH = 6,8)
Jugo de caña (l)		3,00	3,00
Aglutinante de cadillo y balso	al 1,50 % (ml)	45,00	45,00
	al 2,50 % (ml)	75,00	75,00
	al 3,50 % (ml)	105,00	105,00
Lejía de ceniza de bagazo de caña (ml)		69,06	190,00

2.5.3.2. Análisis físico – químicos

Los métodos de análisis físico – químicos que fueron utilizados en las muestras de panela granulada, se mencionan a continuación:

A.) Ceniza de bagazo de caña de azúcar diluida (lejía)

➤ **pH:** Método I-PCC⁹-15, medición de pH.

⁹ I-PCC: Instrucción – Proceso de Control de Calidad (Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A., 2004)

B.) Aglutinantes vegetales

- **pH:** Método I-PCC - 15, medición de pH.

C.) Jugo de la caña de azúcar

Los métodos de análisis físico-químicos que se realizó a las muestras de jugo de caña, según tipo de método se mencionan a continuación:

- **pH:** Método I-PCC - 15, medición de pH.
- **Sólidos solubles (°Brix):** Método I-PCC-74, medición del % Brix - método refractométrico.

D.) Muestras de panela granulada

Los métodos de análisis físico-químicos que se realizó a las muestras de panela granulada, según tipo de método se mencionan a continuación:

- **Porcentaje de azúcares reductores:** Método I-PCC-41, determinación del % de azúcares reductores – método de Berlín.
- **Porcentaje de cenizas:** Método de ceniza sulfatada o gravimétrica, ICUMSA, 1949 (Chen, 1997), y método I-PCC-68, determinación de cenizas en azúcar rubia – método conductimétrico.

- **Porcentaje de humedad:** Método de secado automatizado en una balanza de humedad (Adam Equipment, 2004).
- **Color:** Método de determinación del color en panela – método ICUMSA (Citado por Segura, 2003), y mediante la carta de colores de Munsell, reportada por García, H. (Sandoval *et al.*, 2004).
- **Determinación de sólidos insolubles (sedimentos):** Método de determinación de sólidos insolubles (Prada, 2002).
- **Porcentaje de sacarosa:** Método I-PCC-38, determinación del % de Sacarosa (POL) – método directo.
- **Sólidos solubles (°Brix):** Método I-PCC-74, medición del % Brix - método refractométrico.
- **Porcentaje de pureza:** Método I-PCC-12, determinación del % de pureza – método de la pureza aparente.
- **Porcentaje de proteínas:** Método kjeldahl, recomendado por la A. O. A. C., 1998 (Castro y Castro, 2006).
- **Porcentaje de grasa:** Método de soxhlet, recomendado por la A.O.A.C., 1998 (Castro y Castro, 2006).

La descripción de cada método se presenta en el Anexo C.

2.5.4. Análisis estadístico

Se trabajó con un experimento Factorial 2Ax3Bx2C, con arreglo en Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 repeticiones. Donde el Factor A

estuvo representado por el tipo de aglutinante vegetal, el Factor B estuvo representada por la concentración del aglutinante vegetal en el jugo de caña, y el Factor C estuvo representado por los niveles de pH, tal como se muestra en el cuadro 2.5; para evaluar las variables respuestas: Color, % se azúcares reductores, % de sólidos insolubles, % ceniza y % de humedad.

Cuadro 2.5: Relación de los tratamientos en el estudio

Nº TRATAMIENTOS	A	B	C	IDENTIFICACIÓN
1	A ₁	B ₁	C ₁	A ₁ = cadillo; B ₁ = 1,5 % de concentración; C ₁ = pH de 6,0
2	A ₁	B ₁	C ₂	A ₁ = cadillo; B ₁ = 1,5 % de concentración; C ₂ = pH de 6,8
3	A ₁	B ₂	C ₁	A ₁ = cadillo; B ₂ = 2,5 % de concentración; C ₁ = pH de 6,0
4	A ₁	B ₂	C ₂	A ₁ = cadillo; B ₂ = 2,5 % de concentración; C ₂ = pH de 6,8
5	A ₁	B ₃	C ₁	A ₁ = cadillo; B ₃ = 3,5 % de concentración; C ₁ = pH de 6,0
6	A ₁	B ₃	C ₂	A ₁ = cadillo; B ₃ = 3,5 % de concentración; C ₂ = pH de 6,8
7	A ₂	B ₁	C ₁	A ₂ = balso; B ₁ = 1,5 % de concentración; C ₁ = pH de 6,0
8	A ₂	B ₁	C ₂	A ₂ = balso; B ₁ = 1,5 % de concentración; C ₂ = pH de 6,8
9	A ₂	B ₂	C ₁	A ₂ = balso; B ₂ = 2,5 % de concentración; C ₁ = pH de 6,0
10	A ₂	B ₂	C ₂	A ₂ = balso; B ₂ = 2,5 % de concentración; C ₂ = pH de 6,8
11	A ₂	B ₃	C ₁	A ₂ = balso; B ₃ = 3,5 % de concentración; C ₁ = pH de 6,0
12	A ₂	B ₃	C ₂	A ₂ = balso; B ₃ = 3,5 % de concentración; C ₂ = pH de 6,8

A = Aglutinante vegetal (natural)

B = Concentración del aglutinante vegetal

C = Nivel de acidez (pH)

Modelo aditivo lineal

Es un modelo aditivo lineal TIPO I (a efectos fijos), este es:

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

$i = 1,2$
 $j = 1,2,3$
 $k = 1,2$
 $l = 1,2,3(\text{repeticiones})$

Donde:

y_{ijkl} = Calidad fisico-química de la panela del l-ésimo jugo de caña correspondiente al ajuste del i-ésimo de tipo de aglutinante vegetal, j-ésimo concentración de aglutinante vegetal y k-ésimo nivel de pH.

μ = Efecto de la media general.

A_i = Efecto del i – ésimo tipo de aglutinante vegetal.

B_j = Efecto del j – ésimo concentración de aglutinante.

C_k = Efecto de la k – ésimo nivel de pH.

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i – ésimo tipo de aglutinante vegetal y j – ésimo concentración de aglutinante.

$(AC)_{ik}$ = Efecto de la interacción del i – ésimo tipo de aglutinante vegetal y k – ésimo nivel de pH.

$(BC)_{jk}$ = Efecto de la interacción del j – ésimo concentración de aglutinante y k – ésimo nivel de pH.

$(ABC)_{ijk}$ = Efecto de la interacción del i – ésimo tipo de aglutinante vegetal, j -ésimo concentración de aglutinante y la k – ésimo nivel de pH.

\mathcal{E}_{ijkl} = Efecto del error experimental.

Nivel de significancia (α): 5%

Nivel de confianza ($1-\alpha$): 95%

Comparación de medias

La comparación de medias se realizó mediante el Método de Tuckey, con un nivel de significancia del 0,05.

III. RESULTADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE PANELA GRANULADA

La evaluación de las características físico – químicas, estuvo encaminada a determinar si existe o no diferencias significativas en el uso de aglutinantes vegetales a diferentes concentraciones, y el uso de lejía de ceniza de bagazo de caña a diferentes pH, para la obtención de panela granulada.

En el Cuadro 3.1 se presentan los resultados promedios de las características físico – químicas realizadas a la panela granulada.

Cuadro 3.1: Composición físico – química de panela granulada, a los diferentes tratamiento en estudio aplicados

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS	AGLUTINANTE CADILLO						AGLUTINANTE BALSO					
	Concentración 1,5 %		Concentración 2,5 %		Concentración 3,5 %		Concentración 1,5 %		Concentración 2,5 %		Concentración 3,5 %	
	pH: 6,0	pH: 6,8										
Humedad (%) ^(a)	2,55 a	3,73 a	2,32 a	2,67 a	2,31 a	2,83 a	3,19 a	2,18 a	2,69 a	3,29 a	3,06 a	2,48 a
Cenizas (%) ^(a)	1,97 a	2,72 a	1,97 a	2,76 a	2,62 a	2,93 a	2,02 a	2,53 a	2,22 a	2,88 a	2,21 a	3,15 a
Azúcares reductores (%) ^(a)	0,79 ab	0,66 bc	0,79 ab	0,61 bc	0,85 ab	0,37 c	1,01 a	0,61 bc	0,77 ab	0,83 ab	0,83 ab	0,79 ab
Color (UI) ^(a)	1078,96 a	1622,43 a	1064,43 a	1435,85 a	1399,68 a	1603,01 a	935,73 a	1583,75 a	900,62 a	1437,39 a	1280,49 a	1494,97 a
Sólidos insolubles (%) ^(a)	0,97 a	1,08 a	0,79 a	0,88 a	0,76 a	0,90 a	0,64 a	0,91 a	0,97 a	0,82 a	1,17 a	0,87 a

(a): Promedio dentro de una fila, seguido por la misma letra son no significativas de acuerdo a la prueba tukey (0,05).

3.1.1. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de humedad de panela granulada

En el Cuadro 3.1, se observa que el porcentaje de humedad de los tratamientos en estudio fueron similares para ambos aglutinantes vegetales a sus diferentes concentraciones y para ambos niveles de pH, habiendo alcanzado un promedio de humedad de 3,79 % y un promedio inferior de 2,18 %.

En el Gráfico 3.1, se observa el comportamiento del contenido promedio de la humedad de la panela granulada, teniendo en cuenta la concentración del aglutinante cadillo, aglutinante balso y los niveles de pH.

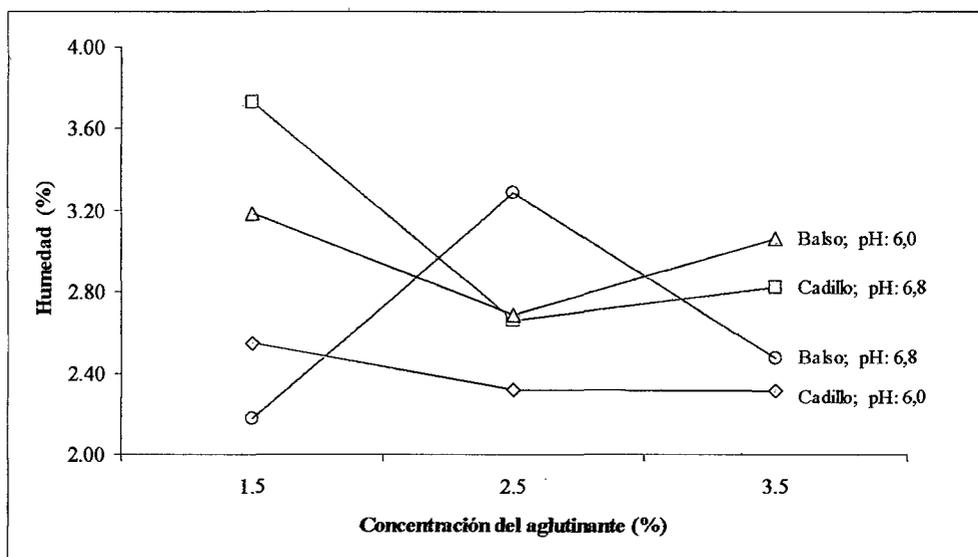


Gráfico 3.1: Contenido promedio de humedad de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

Mediante el análisis de varianza (ANVA), mostrado en el anexo B (Cuadro B.2) y la prueba Tukey (Cuadro B.3), se comprobó que no hubo diferencias significativas, en cuanto a los porcentajes de humedad, entre los tratamientos; obteniéndose un solo grupo homogéneo.

Al evaluar mediante comparación de medias por la prueba Tukey para cada uno de los factores, mostrados en el anexo B (Cuadro B.4), también se comprobó que no hubo diferencias significativas.

3.1.2. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de cenizas de panela granulada

En el Gráfico 3.2, se observa el comportamiento del contenido promedio de cenizas de la panela granulada, teniendo en cuenta la concentración del aglutinante cadillo, aglutinante balso y los niveles de pH.

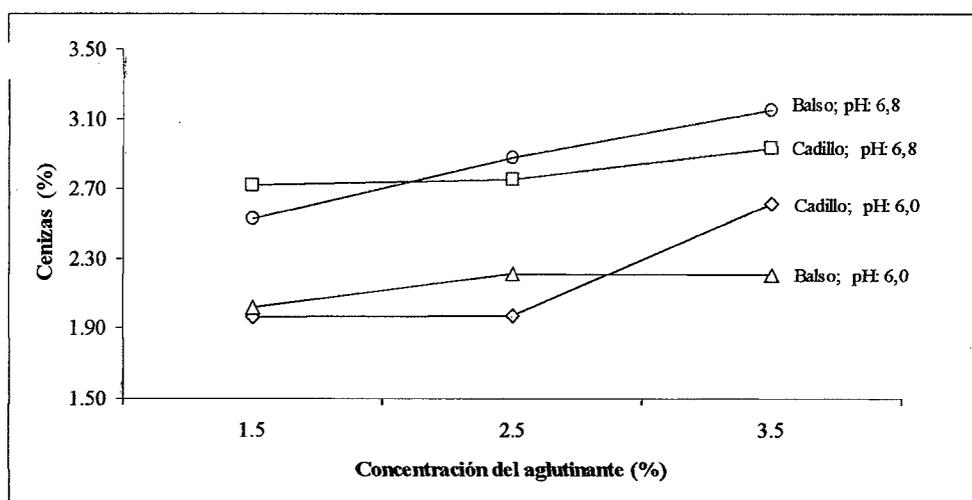


Gráfico 3.2: Contenido promedio de cenizas de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

El contenido de cenizas (Cuadro 3.1) según los tratamientos estudiados tienen diferencia mínima, obteniéndose valores entre 1,97 % y 3,15 %.

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo B (Cuadro B.6), se comprobó que no hubo diferencias significativas para el tipo de aglutinante (factor A), para la concentración de aglutinante (factor B), para las interacciones

de segundo orden (AB, AC, BC) y para las interacciones de tercer orden (ABC); sin embargo para el nivel de pH (factor C) se comprobó una diferencia significativa y altamente significativa, en cuanto al porcentaje de cenizas.

De acuerdo a la prueba tukey, mostrado en el anexo B (Cuadro B.7), podemos señalar que el contenido de cenizas de los promedios de los tratamientos son equivalentes entre si, obteniéndose un solo grupo homogéneo; observándose además que los que han sido regulados a un pH de 6,0 nos reportan valores inferiores, comparados a los que han sido regulados a un pH de 6,8 que nos reportan valores superiores del porcentaje de cenizas.

Al realizar una comparación de medias a nivel de los factores, mediante la prueba tukey, mostrados en el anexo B (Cuadro B.8), podemos señalar que no existe diferencias significativas para el tipo de aglutinante (factor A) y para la concentración de aglutinante (factor B); en cambio para el nivel de pH (factor C) se observó una diferencia significativa, confirmándose que para valores de pH de 6,0 el contenido de cenizas es menor y para valores de pH 6,8 el contenido de cenizas es mayor.

En el Gráfico 3.3, se muestra el porcentaje promedio de cenizas de la panela granulada elaborada con cadillo y balso a un pH de 6,0 donde se observa valores inferiores; por el contrario para la panela granulada elaborada con cadillo y balso a un pH de 6,8 se observa valores superiores.

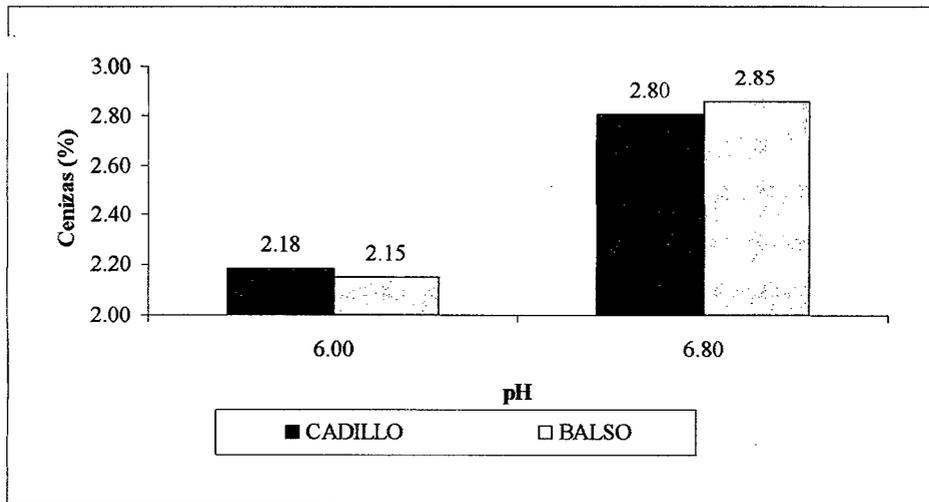


Gráfico 3.3: Contenido de cenizas de panela granulada, en función del tipo de aglutinante y nivel de pH

3.1.3. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de azúcares reductores de panela granulada

En el Gráfico 3.4, se observa el comportamiento del contenido promedio de azúcares reductores de la panela granulada, teniendo en cuenta la concentración del aglutinante cadillo, aglutinante balso y los niveles de pH.

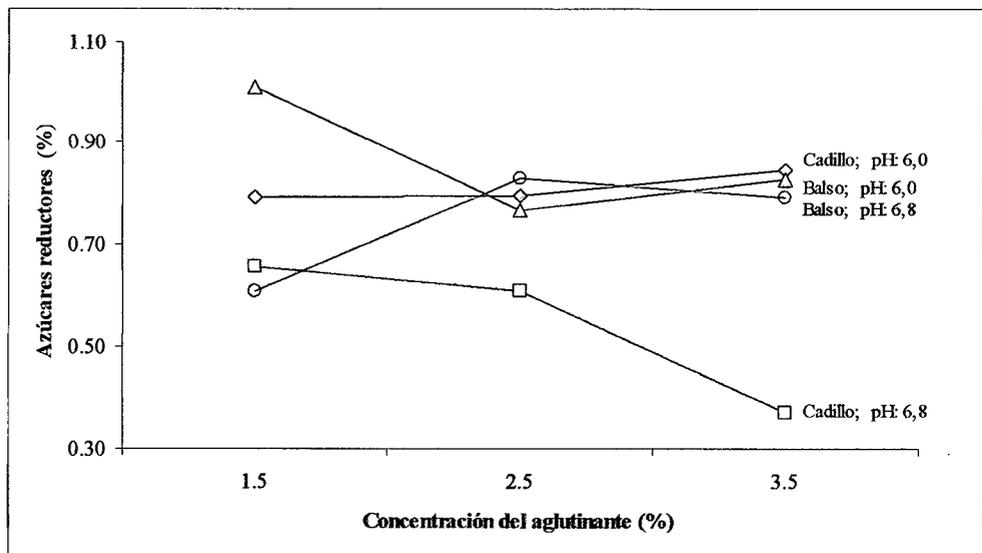


Gráfico 3.4: Contenido promedio de azúcares reductores de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

El contenido de azúcares reductores (Cuadro 3.1), de los tratamientos estudiados tienen una diferencia notoria, obteniéndose valores entre 0,37 y 1,01 % de sustancias reductoras.

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo B (Cuadro B.10), se comprobó que tanto el tipo de aglutinante (factor A), nivel de pH (factor C) y la interacción de tercer orden (ABC) tienen un efecto altamente significativo sobre el contenido de azúcares reductores; en cambio la concentración de aglutinante (factor B) y las interacciones de segundo orden (AB, AC, BC) no tienen efecto significativo, ni altamente significativo sobre el contenido de azúcares reductores de panela granulada.

Con la prueba tukey, mostrado en el anexo B (Cuadro B.11), se comprobó que existen diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos en estudio, obteniéndose tres grupos homogéneos, donde los tratamientos Ca: 3,5 %; pH: 6,8 – Ba: 1,5 %; pH: 6,8 – Ca: 2,5 %; pH: 6,8 y Ca: 1,5 %; pH: 6,8 son equivalentes entre si y con valores inferiores en el contenido de azúcares reductores.

Al realizar una comparación de medias a nivel de los factores, mediante la prueba tukey, mostrados en el anexo B (Cuadro B.12), podemos señalar que existe un efecto significativo sobre los azúcares reductores según el tipo de aglutinante (factor A) donde el aglutinante cadillo (A1) tiene el contenido de azúcar reductor inferior en relación al promedio del aglutinante balso (A2), en cuanto al nivel de pH (factor C) también existe un efecto significativo sobre los azúcares reductores, sus promedios son heterogéneos. Por el contrario para la concentración de aglutinante (factor

B) no existe un efecto significativo sobre los azúcares reductores, sus promedios son homogéneos.

En el Gráfico 3.5, se muestra el porcentaje promedio de azúcares reductores de la panela granulada, teniendo en cuenta el tipo de aglutinante, en la cual se observa que con el uso de cadillo se obtuvo menores valores en relación al balso.

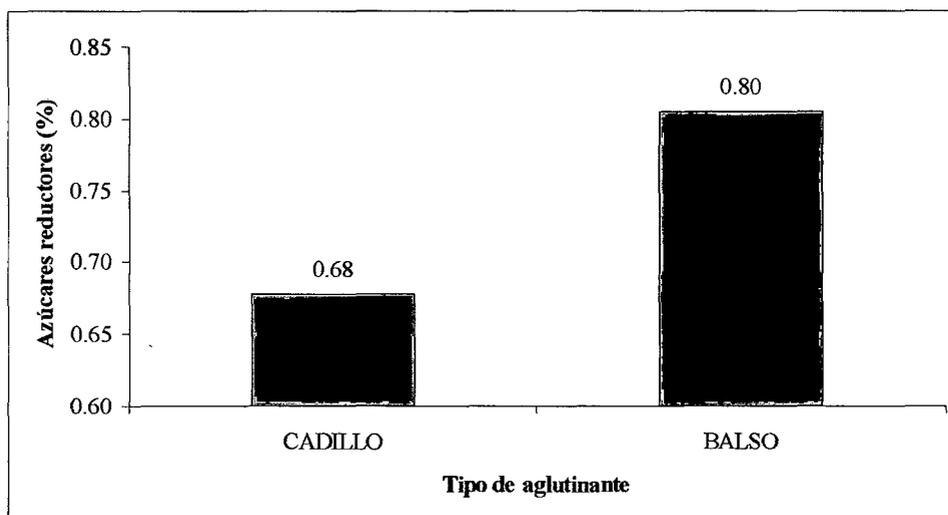


Gráfico 3.5: Contenido de azúcares reductores de panela granulada, en función del tipo de aglutinante

En el Gráfico 3.6, se muestra el porcentaje promedio de azúcares reductores de la panela granulada elaborada con cadillo y balso a un pH de 6,0 donde se observa valores superiores; por el contrario para la panela granulada elaborada con cadillo y balso a un pH de 6,8 se observa valores inferiores.

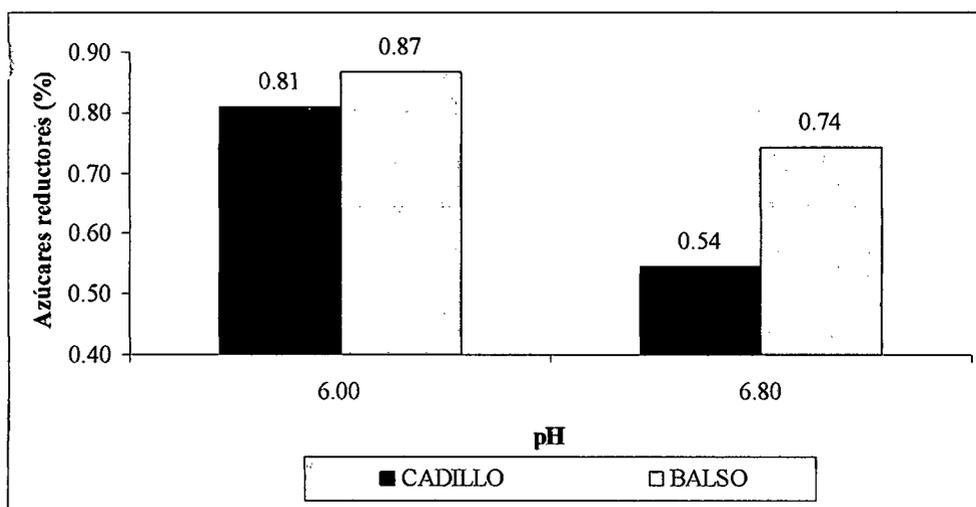


Gráfico 3.6: Contenido de azúcares reductores de panela granulada, en función del tipo de aglutinante y nivel de pH

3.1.4. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el color de panela granulada

En el Gráfico 3.7, se observa el comportamiento del valor del color de la panela granulada, teniendo en cuenta la concentración del aglutinante cadillo, aglutinante balso y los niveles de pH.

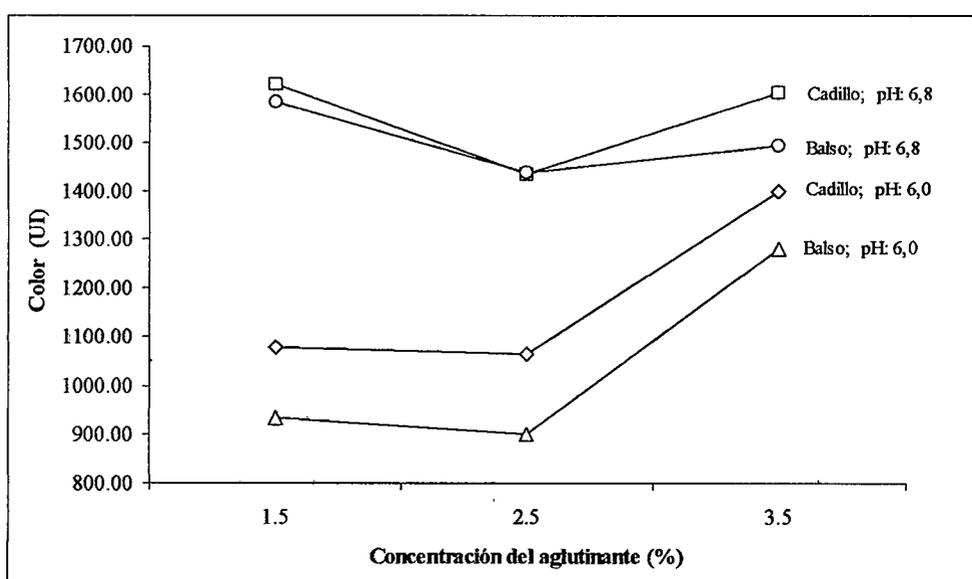


Gráfico 3.7: Valor del color de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

La variación del color (Cuadro 3.1), de los tratamientos en estudio tienen valores entre 900 y 1622 Unidades ICUMSA (UI).

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo B (Cuadro B.14), se comprobó que para el nivel de pH (factor C) solo al 5 % de significancia existe un efecto significativo sobre el color, al 1 % de significancia no existe efecto altamente significativo sobre el color; en cambio para el tipo de aglutinante (factor A), concentración del aglutinante (factor B), interacciones de segundo y tercer orden (AB, AC, BC, ABC) no existe efecto significativo, ni altamente significativo sobre el color de la panela granulada.

Con la prueba tukey, mostrado en el anexo B (Cuadro B.15), se comprobó que no hubo significación estadística entre los promedios de los tratamientos en estudio, obteniéndose un solo grupo homogéneo, donde los tratamientos Ba: 2,5 %; pH: 6,0 – Ba: 1,5 %; pH: 6,0 y Ca: 2,5 %; pH: 6,0 son los que presentaron menor valor de color.

Al realizar una comparación de medias a nivel de los factores, mediante la prueba tukey, mostrados en el anexo B (Cuadro B.16) podemos señalar que existe un efecto significativo sobre el color según el nivel de pH (factor C), observándose una heterogeneidad entre ambos promedios, donde a un pH de 6,0 el valor promedio del color es inferior en relación al valor promedio de color a un pH de 6,8. Por el contrario para el tipo de aglutinante (factor A) y la concentración de aglutinante (factor B) no existe un efecto significativo sobre el color, sus promedios son homogéneos.

En el Gráfico 3.8, se observa que a mayor pH hay un incremento del color en la panela granulada. Se muestra el valor promedio de color de la panela

granulada elaborada con cadillo y balso a un pH de 6,0 donde se observa valores inferiores; por el contrario para la panela granulada elaborada con cadillo y balso a un pH de 6,8 se observa valores superiores.

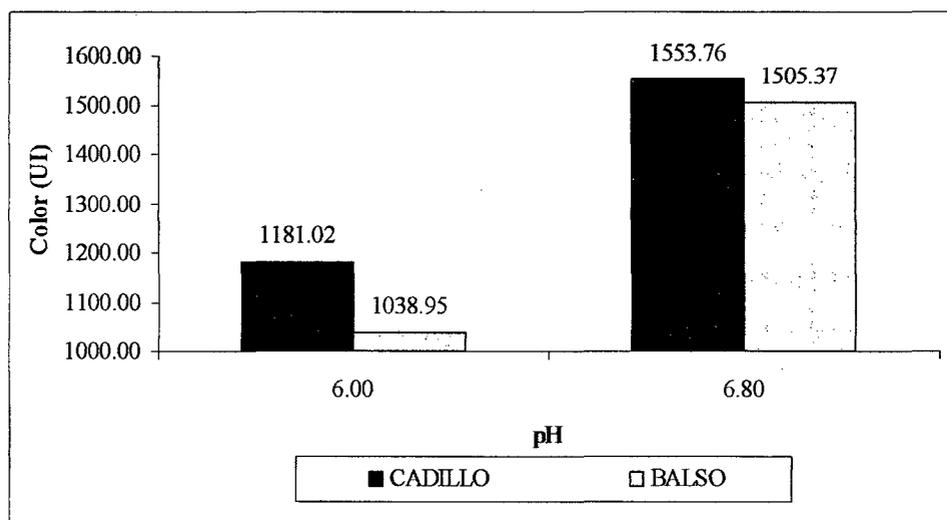


Gráfico 3.8: Valoración del color de la panela granulada en función del tipo de aglutinante y el nivel de pH

3.1.5. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de sólidos insolubles de panela granulada

En el Gráfico 3.9, se observa el comportamiento de los sólidos insolubles de la panela granulada, teniendo en cuenta la concentración del aglutinante cadillo, aglutinante balso y los niveles de pH.

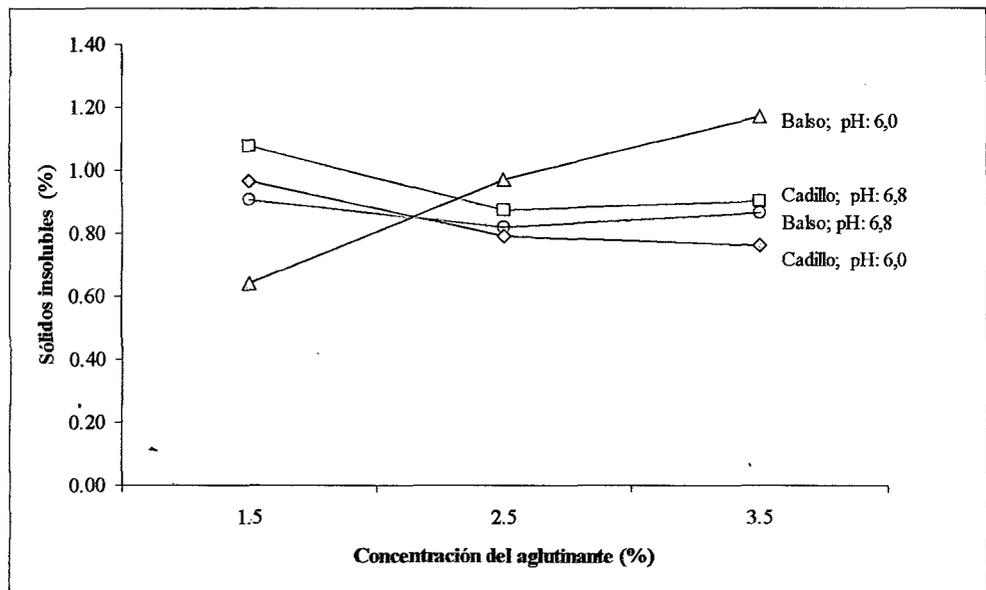


Gráfico 3.9: Contenido promedio de sólidos insolubles de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

En el Cuadro 3.1, se observa que el porcentaje de sólidos insolubles o sedimentos de los tratamientos en estudio fueron similares, obteniéndose valores entre 0,64 y 1,17 %.

Mediante el ANVA, mostrados en el anexo B (Cuadro B.18), y la prueba tukey (Cuadro B.19), se comprobó que no hubo diferencias significativas, en cuanto al porcentaje de sólidos insolubles, entre los tratamientos en estudio.

Con la comparación de medias a nivel de los factores, mediante la prueba tukey, mostrados en el anexo B (Cuadro B.20), podemos señalar que no existe un efecto significativo sobre los sólidos insolubles de la panela granulada, sus promedios son homogéneos.

3.1.6. Influencia de los tratamientos estudiados sobre el rendimiento de panela granulada

El análisis del rendimiento promedio se realizó considerando como un 100 % el jugo de caña de azúcar que se utilizó en el proceso de obtención de panela granulada.

En el Gráfico 3.10, se muestra los rendimientos promedios de la panela granulada según los tipos de aglutinantes vegetal utilizados. Se observa que la variación es entre 12,88 y 13,06 %, siendo ligeramente mayor con el uso del aglutinante cadillo.

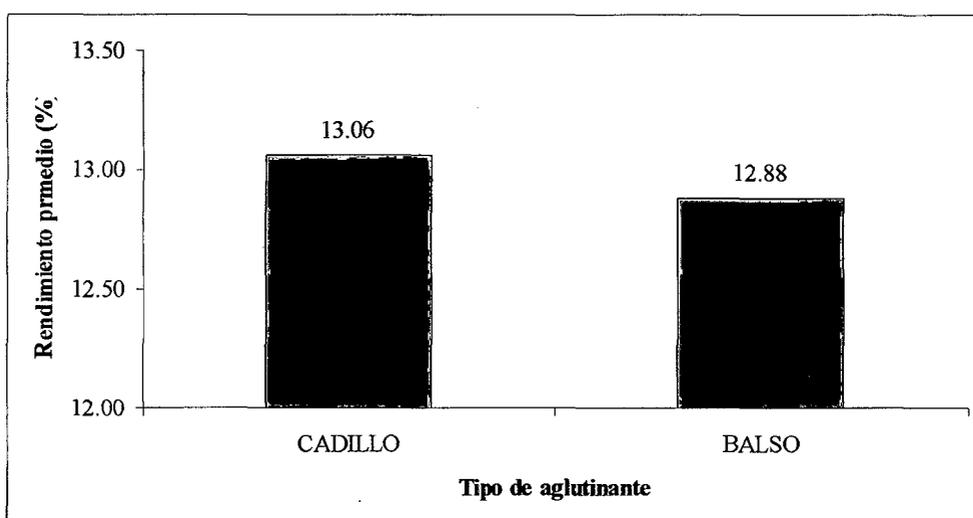


Gráfico 3.10: Rendimiento promedio de panela granulada, según tipo de aglutinante

En el Gráfico 3.11, se muestra los rendimientos promedios de la panela granulada según tipos y las concentraciones de los aglutinantes vegetales utilizados. Se observa que la variación es entre 12,58 y 13,30 %, siendo ligeramente mayor con el uso del aglutinante balso al 1,5 %.

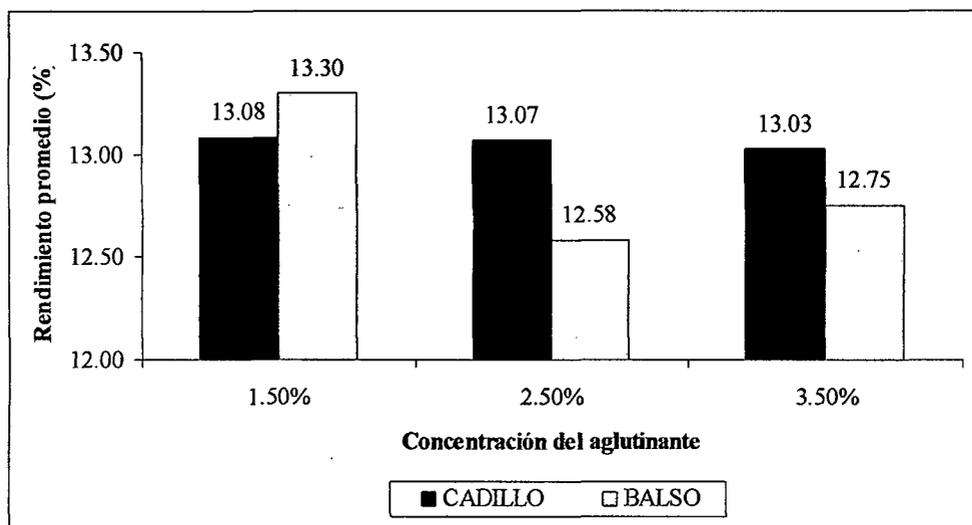


Gráfico 3.11: Rendimiento promedio de panela granulada, según tipo y concentración del aglutinante

En el Gráfico 3.12, se muestra los rendimientos promedios de la panela granulada según el tipo de aglutinante y nivel de pH utilizados. Se observa una variación entre 12,76 y 13,10 %, obteniéndose rendimientos ligeramente mayor a un pH de 6,8.

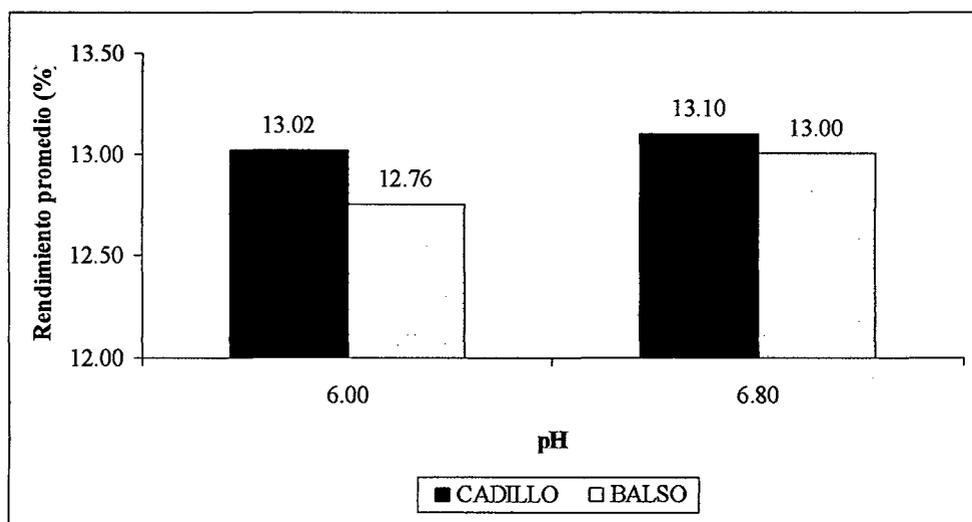


Gráfico 3.12: Rendimiento promedio de panela granulada, según tipo de aglutinante y nivel de pH

En general no hay mucha variación en el rendimiento de la panela granulada a diferente tipo y concentración de aglutinantes empleados, así como a los diferentes niveles de pH aplicados.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PANELA GRANULADA

En el Cuadro 3.2, se muestra la composición fisico-química de la panela granulada elaborada con cadillo y balso, seleccionada teniendo en cuenta los tratamientos que está dentro de los parámetros establecidos por la Norma Sanitaria de Colombia (Resolución n.º 002284, M. de salud de Colombia, 1995), y tomando en cuenta criterios técnicos y económicos en la selección de las variables dependientes determinantes, que para la presente investigación se consideró al porcentaje de sólidos insolubles y el color de la panela granulada. Para la panela granulada obtenida con balso se ha seleccionado el Tratamiento 7; y para la panela granulada obtenida con cadillo se ha seleccionado el Tratamiento 3.

En lo referente a los sólidos insolubles, por criterio técnico se puede determinar que la muestra que presente menores sólidos insolubles (sedimentos) es la de mejor calidad. Según los tratamientos seleccionados se observa que la panela granulada que presenta menor contenido, es la elaborada con balso, valor que es ligeramente inferior a la panela granulada elaborada con cadillo (0,64 y 0,79 % respectivamente).

El cuanto al color, el valor obtenido para la panela granulada con cadillo es de 82,20 % tramitancia y 1064,43 (UI); para la panela granulada obtenida con balso es de 84,57 % tramitancia y 935,73 (UI).

En cuanto al contenido de cenizas el forma general utilizando el método de cenizas sulfatadas o cenizas gravimétricas (Grav.), se obtiene mayores resultados comparado con el método conductimétrico (Cond.). La panela granulada elaborada con cadillo presentó un valor ligeramente inferior a la panela granulada elaborada con balso (1,51 y 1,54 % respectivamente, método conductimétrico).

Los azúcares reductores de los dos tratamientos seleccionados, el que presentó valor inferior es la panela granulada elaborada con cadillo (0,79 %) y la panela granulada elaborada con balso un valor ligeramente superior (1,01 %).

En lo referente al contenido de sacarosa, la panela granulada elaborada con cadillo presentó un valor ligeramente inferior a la panela granulada elaborada con balso (90,62 y 91,67 % respectivamente).

El contenido de proteínas fue superior en la panela elaborada con cadillo (1,30 %) y la elaborada con balso fue inferior (0,87 %).

Cuadro 3.2: Composición físico – química de la panela granulada con cadillo y balso

COMPONENTES		Tratamiento 3: PGCa ¹⁰ Ca: 2,5 %; pH: 6,0	Tratamiento 7: PGBa ¹¹ Ba: 1,5 %; pH: 6,0
Humedad (%)		2,32	3,19
Cenizas	Grav. (%)	1,97	2,02
	Cond. (%)	1,51	1,54
Azúcares reductores (%)		0,79	1,01
Color	(UI)	1064,43	935,73
	(% T)	82,20	84,57
	Cualitativo ¹²	Amarillo Ocre	Naranja Mineral
Sólidos insolubles (%)		0,79	0,64
Proteínas (%)		1,30	0,87
Nitrógeno (%)		0,21	0,14
Grasa (%)		0,68	0,72
Sacarosa (%)		90,62	91,67
Brix (%)		97,55	97,41
Pureza (%)		92,90	94,11

Donde: Grav.: Gravimétricas
Cond.: Conductimétricas

UI: Unidades ICUMSA
% T: % Tramitancia

¹⁰ PGCa: Panela granulada con Cadillo al 2,5 % y nivel de pH de 6,0 (Ca: 2,5 %; pH: 6,0 – Tratamiento 3)

¹¹ PGBa: Panela granulada con Balso al 1,5 % y nivel de pH de 6,0 (Ba: 1,5 %; pH: 6,0 – Tratamiento 7)

¹² Según carta de colores de Munsell (Sandoval *et al.*, 2004)

3.3. COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LA PANELA GRANULADA

En el Cuadro 3.3, se presenta los valores de las características físico – químicas de la panela granulada con los mejores resultados obtenidos en la investigación, la cual es comparada con los requisitos de calidad para este producto, propuestos por la Norma Sanitaria Colombiana y otras instituciones nacionales y extranjeras.

Cuadro 3.3: Comparación de las características físico- químicas de la panela granulada obtenidas, con los requisitos propuestos por otras instituciones

COMPONENTES		PRESENTE INVESTIGACIÓN (PROMEDIOS)		NORMA SANITARIA COLOMBIANA Resol. N° 002284		INSTITUTO ANBOISSE DE FRANCIA		CENTRAL PIURANA DE CAFETALEROS (CEPICAFE)	
		Trat. 3 PGCa Ca: 2,5%; pH: 6,0	Trat. 7 PGBa Ba: 1,5%; pH: 6,0	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Humedad (%)		2,32	3,19	-	9,00	-	9,00	1,60	5,00
Cenizas	Grav. (%)	1,97	2,02						
	Cond. (%)	1,51	1,54	0,80	1,90	0,80	-	1,50	2,00
Azúcares reductores (%)		0,79	1,01	5,50	-	5,50	-	5,50	11,00
Color (550nm)	UI	1064,43	935,73						
	%T	82,20	84,57	30,00	85,00				
Sólidos insolubles (%)		0,79	0,64					0,80	1,50
Proteínas (%) (N x 6,25)		1,30	0,87	0,20	-	0,20	-		
Nitrógeno (%)		0,21	0,14					-	0,20
Grasa (%)		0,68	0,72						
Sacarosa (%)		90,62	91,67	73,00	83,00	-	83,00 ¹³	82,00 ¹⁴	85,00
Brix (%)		97,55	97,41					96,00	98,00
Pureza (%)		92,90	94,11						

¹³ Considerado como azúcares no reductores.

¹⁴ Considerado como carbohidratos.

IV. DISCUSIONES

En base a los resultados obtenidos, en la presente investigación, se procede a presentar las discusiones, para cada objetivo planteado:

Para la elección del tipo de aglutinante vegetal, su preparación y su aplicación en el jugo de caña de azúcar, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en la investigación realizada por Prada (2002), la cual, utilizó aglutinantes de cadillo y balso, obteniendo su mucílago adicionando 1 litro de agua a 125 g de corteza, hojas y tallos, llevándolo a 50° C por 15 minutos, para finalmente adicionarlos al jugo de la caña en el proceso a una concentración de 2,5 %, dosificados en 1,5 % cuando los jugos alcanzan los 50° C y el resto a los 70° C.

Para la elección de la regulación de los jugos de la caña de azúcar a los nivel de pH, establecidos en la presente investigación, se tuvo en consideración los resultados obtenidos por Baquero *et al.*, (1997) (Citado por Segura, 2003), quien en varios estudios experimentales ha demostrado que para la fabricación de panela, el pH óptimo de los jugos debe ser de 5,8; se tuvo en cuenta la investigación de Sandoval *et al.*, (2004), quien en sus ensayos de elaboración de panela granulada ajustó el pH de sus jugos de caña a 5,8 y 6,0; se tuvo en cuenta las afirmaciones de CEPICAFE (2006), quienes durante el proceso de obtención de panela granulada, en la etapa de limpieza y clarificación de los jugos de caña al llegar entre 40 y 60° C, agregan un regulador de pH que permita regular el pH del jugo desde 5,2 a 6,8, para la formación de películas denominadas cachaza, las cuales son retiradas de la paila por intermedio de descachazadotes; también; se tuvo en cuenta los resultados obtenidos por Segura (2003), quien obtuvo las mejores muestras de panela entre un pH de 5,6 y 5,8; además,

se tuvo en cuenta lo establecido por FONCODES (2005), que afirman que, para obtener panela de calidad y con buena cristalización, hay que regular los jugos de la caña de azúcar a un pH cercano a 7,0.

El contenido de humedad de la panela granulada para los tratamientos estudiados varió entre 2,18 y 3,73 % y el valor del color varió entre 900,62 y 1622,43 UI y valores entre 82,20 y 84,57 % Tramitancia; encontrándose estos rangos dentro de los requisitos de calidad establecidos por la Resolución n.º 002284 del Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003). En cuanto al rango de humedad antes mencionado, también se encuentran dentro de los parámetros de los requisitos físico-químicos establecidos por el Instituto Anboisse de Francia y la ficha técnica de la panela granulada establecida por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007). En cuanto al rango del valor de color antes mencionado, al compararlo con los resultados obtenidos en la investigación de Chávez (Citado por Segura, 2003), el cual reporta valores de color que varió entre 2537,81 y 4032,22 UI, siendo estos superiores a los valores obtenidos en esta investigación.

Sandoval *et al.*, (2004), en sus siete ensayos de elaboración de panela granulada obtiene valores entre 1,19 y 1,8 % de humedad, estos valores son inferiores a los resultados obtenidos en la presente investigación.

Segura (2003), en sus seis tratamientos para la elaboración de panela granulada obtuvo valores de color entre 2052,24 y 2505,22 UI, estos resultados son superiores a los obtenidos en la presente investigación; lo cual nos indica que Segura obtuvo muestras de panela granulada con un color mas oscuro, coincidiendo la proporcionalidad de sus resultados con los de esta investigación, en cuanto a que, los valores menores de color

(UI) pertenecen a las muestras reguladas a un pH más bajo y los resultados mayores de color pertenecen a las muestras reguladas a un pH más alto.

El contenido de cenizas de la panela granulada para los tratamientos estudiados varió entre 1,51 y 2,41 %. Algunos de estos valores, especialmente en las muestras reguladas a pH de 6,0, están dentro de los requisitos físico-químicos de panela establecidos por la Resolución n.º 002284 del Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003), los establecidos por el Instituto Anboisse de Francia y la ficha técnica establecida por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007). En cambio aquellas muestras reguladas a pH de 6,8, en su mayoría, presentaron valores superiores a los requisitos de calidad sugeridos por las instituciones y empresas antes mencionadas.

Segura (2003), en sus seis tratamientos para la elaboración de panela granulada obtuvo valores entre 1,22 y 1,53 % de cenizas, Sandoval *et al.*, (2004), en sus siete ensayos obtuvo valores entre 0,59 y 0,89 % de cenizas; estos resultados son inferiores a los obtenidos en la presente investigación; al igual que los valores de color, los resultados de cenizas, también coinciden la proporcionalidad de sus resultados con los de esta investigación, en cuanto a que, los porcentajes menores cenizas pertenecen a las muestras reguladas a un pH más bajo y los porcentajes mayores de cenizas pertenecen a las muestras reguladas a un pH más alto.

El contenido de azúcares reductores de la panela granulada para los tratamientos estudiados varió entre 0,37 y 1,01 %; estos valores, son inferiores a los requisitos de calidad de panela establecidos por la Resolución n.º 002284, del Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003), por el Instituto Anboisse de Francia y la ficha técnica establecida por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007).

Segura (2003), en sus seis tratamientos para la elaboración de panela granulada obtuvo valores entre 3,60 y 4,04 % de azúcares reductores, Sandoval *et al.*, (2004), en sus siete ensayos obtuvo valores entre 2,53 y 9,72 % de azúcares reductores; estos resultados son superiores a los obtenidos en la presente investigación.

El contenido de sólidos insolubles de la panela granulada para los tratamientos estudiado, se encuentra en el rango: 0,64 – 1,17 %. Dicho rango presenta algunos valores que están por debajo de lo establecido por la ficha técnica de la panela granulada, reportado por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007) y en su mayoría se obtuvo valores, que están dentro de lo establecidos por esta empresa.

En cuanto al contenido de humedad de los tratamientos seleccionados, el tratamiento 3 presentó valor promedio inferior al tratamiento 7 (2,32 y 3,19 % respectivamente); estos valores son inferiores a los requisitos de calidad establecidos por la Resolución n.º 002284, Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003) y los requisitos físico – químicos establecidos por el Institutito Anboisse de Francia (Citado por Panduro, 2007); así mismo, estos valores están dentro de lo establecido por la ficha técnica de la panela, reportado por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007). La panela granulada cuanto menor presente el contenido de este componente, es mejor para su conservación y consumo. Norma Técnica Peruana, 1981 (Citado por Segura, 2003).

Segura (2003), obtuvo 1,50 % de humedad para las muestras de PGCe¹⁵ regulada a pH de 5,6 y para PGCa¹⁶ regulada a pH de 5,8, valores que son inferiores a lo obtenido en la presente investigación; estos resultados serían debidos, posiblemente, a un

¹⁵ PGCe: Panela Granulada elaborada con solución de ceniza de guarango

¹⁶ PGCa: Panela Granulada elaborada con solución de cal

tratamiento más fuerte en la etapa de concentración, es decir temperaturas altas, permitiendo mayor evaporación de agua del producto.

En la investigación de Durán (Citado por Segura, 2003), se obtuvo 7,48 % de humedad promedio en las muestras de panela en la Hoya del río Suárez, en Colombia, valor superior a lo obtenido en esta investigación; resultado atribuible a una diferencia marcada en el control de la temperatura y el tiempo durante el proceso; también podría considerarse como factor involucrado a la diferencia en la presión de vapor del agua, debido a la ubicación geográfica.

En lo referente al contenido de cenizas, el tratamiento 3 presentó un valor ligeramente inferior al tratamiento 7 (1,51 y 1,54 % respectivamente); estos valores están dentro del rango de requisitos de calidad, establecidos por la Resolución n.º 002284 del Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003), Instituto de Anboisse de Francia y la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007). Un producto que su uso es para endulzar, debe tener menor contenido de este componente. Norma Técnica Peruana, 1981 (Citado por Segura, 2003).

Segura (2003), obtuvo para PGCe a pH de 5,6 un contenido de cenizas de 1,22 % y para la PGCa a pH de 5,8 un contenido de cenizas de 1,38%; los cuales comparados con los valores obtenidos en esta investigación, son ligeramente inferior; dichos resultados nos muestran comportamiento directamente proporcional entre el nivel de pH y el contenido de cenizas en la panela, debido a que para regular los jugos de la caña de azúcar a pH cada vez más alto, requiere de mayor adición de solución alcalinizadora y por ende influye en el aumento del contenido de ceniza, lo contrario sucede cuando se regulan los jugos a menor pH.

En la investigación de Durán (Citado por Segura, 2003), se obtuvo 1,04 % de cenizas, valor inferior al obtenido en la presente investigación y se podría relacionar con varios factores como: tipo de regulador de pH, nivel de pH de los jugos, variedad de la caña de azúcar, tipo de suelo y ubicación geográfica del cultivo.

Los azúcares reductores de los tratamientos seleccionados, el que presentó valor inferior es el tratamiento 3 con 0,79 % en relación al tratamiento 7 con 1,01 %; ambos valores son inferiores a lo establecido por la Resolución n.º 002284 del Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003); también estos valores son inferiores a lo establecido por el Instituto de Anboisse de Francia y la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007).

Segura (2003), obtuvo 3,70 % de azúcares reductores para la PGCa a pH de 5,6 y para PGCa a pH de 5,8 obtuvo 3,69 %, valores superiores a los obtenidos en esta investigación. Por tanto, Segura, presumiblemente, alcanzó temperaturas altas en la etapa de concentración, lo cual contribuyó a la mayor inversión de la sacarosa y menor contenido de humedad; lo contrario sucedió en la presente investigación, en la cual se alcanzó temperaturas de 135° C, obteniéndose mayor humedad y menor contenido de azúcares reductores. Todo lo anterior nos muestra una relación inversa entre la humedad y el contenido de azúcares reductores.

En la investigación de Durán (Citado por Segura, 2003), obtuvo un promedio de 9,15 % de azúcares reductores, valor notoriamente superior a lo obtenido en la presente investigación; las diferencias en estos resultados podrían tener una directa relación con la manipulación de parámetros como tiempo y temperatura, cuanto mayor sea el tiempo

y más altas temperaturas alcance el proceso en la etapa de concentración, mayor es la inversión de la sacarosa.

El cuanto al color, ambos tratamientos seleccionados (tratamiento 3: 82,20 % T y tratamiento 7: 84,57 % T), están dentro de los requisitos establecidos por la Resolución n.º 002284, Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003), que establece un rango entre 30 y 85 % T. Hay que resaltar además que cuanto mayor sea el porcentaje de tramitancia de las muestras de panela, más claro es su color a la observación y viceversa; por tanto el tratamiento 7 es el más claro.

Segura (2003), obtuvo 56,89 % T de color para la PGCe a pH de 5,6 y para la PGCa a pH de 5,8 un color de 55,75 % T, en la investigación de Durán (Citado por Segura, 2003), obtuvo 55,22 % T de color; valores inferiores a los obtenidos en esta investigación y que a la vez indican una panela más oscura a la observación; resultados atribuibles a las altas temperaturas alcanzadas en el proceso, que además de tener relación con el menor contenido de humedad, mayor inversión de la sacarosa, también tiene relación con un color más oscuro de la panela granulada. Lo contrario sucedió con la presente investigación en la cual se obtuvo un panela más clara, baja inversión de la sacarosa y humedad ligeramente mayor.

Según la carta de colores de Munsell (Sandoval *et al.*, 2004), para el tratamiento 3 se obtuvo un color amarillo ocre y para el tratamiento 7 un color naranja mineral, resultados similares a los obtenidos en sus ensayos de Sandoval, Mora, y Tuz.

En lo referente a los sólidos insolubles, por criterio técnico, se puede determinar que la muestra que presente menores sólidos insolubles (sedimentos) es la de mejor calidad. Según los tratamientos seleccionados se observa que la panela granulada que presenta

menor contenido es el tratamiento 7, valor que es ligeramente inferior a el tratamiento 3 (0,64 y 0,79 % respectivamente). En la Resolución n.º 002284, Ministerio de Salud de Colombia no menciona este componente, pero si lo comparamos con lo establecido por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007), los valores obtenidos en la presente investigación están dentro de sus parámetros.

Prada (2002), el contenido de sólidos insolubles en la panela granulada que obtuvo en su investigación fue de 0,45 % al usar balso y 0,41 % al usar cadillo, valores inferiores a los obtenidos en esta investigación; resultados que podrían tener relación con las características físico – químicas de los aglutinantes vegetales y con la rigurosidad en la etapa de clarificación al retirar la cachaza; Prada fue más riguroso en la prelimpieza y clarificación, comparado con esta investigación.

El tratamiento 7 presenta los mejores resultados en relación al tratamiento 3, debido a que la mayoría de los valores de las variables respuestas (sólidos insolubles, color y azúcares reductores), además, de estar dentro de los requisitos de calidad establecidos por el Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003), Instituto de Anboisse de Francia y la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007), el tratamiento 7 presenta: menor contenido de sólidos insolubles, color más claro y porcentaje de azúcares reductores más cercano a los requisitos de calidad antes mencionado.

El contenido de proteínas fue superior en el tratamiento 3 (1,30 %) y el tratamiento 7 fue inferior (0,87 %). Si lo comparamos con lo establecido por la Resolución n.º 002284, Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003) y el Instituto de

Anboisse de Francia (Citado por Panduro, 2007), estos valores son notoriamente superiores.

Segura (2003), obtuvo un promedio de 0,87 % de proteínas para la PGCe a pH de 5,6 y para la PGCa a pH de 5,8 un promedio de 0,65 % de proteínas, Duran también obtuvo 0,70 % de proteínas (Citado por Segura, 2003), estos valores son inferiores a los obtenidos en esta investigación; resultados que podrían tener relación con la variedad de la caña de azúcar.

El contenido de nitrógeno para tratamiento 3 presentó valor ligeramente superior a el tratamiento 7 (0,21 – 0,14 % respectivamente). La Resolución n.º 002284, Ministerio de Salud de Colombia, no considera este componente, pero si lo comparamos con lo establecido por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007), estos valores están dentro de lo establecido por esta empresa.

Según Segura (2003), obtuvo valores de nitrógeno de 0,13 % para PGCe a pH de 5,6 y de 0,104 % para PGCa a pH de 5,8, Duran obtuvo 0,11 % de nitrógeno (Citado por Segura, 2003); estos valores son inferiores a los obtenidos en la presente investigación y que están directamente relacionados con los resultados de proteínas, debido que para el cálculo del porcentaje de proteínas se obtiene multiplicando el porcentaje de nitrógeno por un factor (0,65), por tanto sus valores son directamente proporcionales.

El porcentaje de grasa presentes en el tratamiento 3 fue ligeramente inferior a el tratamiento 7 (0,68 – 0,72 % respectivamente). La Resolución n.º 002284, Ministerio de Salud de Colombia, no considera este componente, pero si lo comparamos con los resultados que obtuvo Segura (2003), cuyo valor fue de 0,20 % y además lo comparamos con lo que obtuvo Duran, que fue de 0,14 % de grasa (Citado por Segura,

2003); los valores obtenidos en esta investigación son notoriamente superior, tales resultados se le podría justificar, debido a que la caña de azúcar no ha sido lavado, previo a la extracción del jugo de esta, las grasas presentes en el exterior de la corteza de la caña de azúcar se han incorporado al producto final.

En lo referente al contenido de sacarosa, el tratamiento 3 presentó un valor ligeramente inferior a el tratamiento 7 (90,62 y 91,67 % respectivamente), estos valores son superiores a lo establecido por la Resolución n.º 002248, Ministerio de Salud de Colombia (Citado por Segura, 2003), además, son superiores a lo establecido por el Instituto Anboisse de Francia y lo establecido por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007).

Segura (2003), en su investigación para PGCe a pH de 5,6 obtuvo 89,18 % y para la PGCa a pH de 5,8 obtuvo 89,78 % de sacarosa, por su lado Duran obtuvo un promedio de 80,91 % de sacarosa (Citado por Segura, 2003), estos valores son inferiores a los obtenidos en esta investigación; resultados atribuibles a la intervención de múltiples variables como: índice de madurez y variedad de caña de azúcar, control de parámetros del proceso y ubicación geográfica del cultivo.

Los grados Brix (° Bx), del tratamiento 3 es ligeramente superior a el tratamiento 7 (97,55 – 97,41 % respectivamente); La Resolución n.º 002284, M, salud de Colombia no considera esta característica físico - química, pero si lo comparamos con lo establecido por la empresa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007), estos valores están dentro de sus parámetros; resultado directamente relacionado con la variedad de la caña de azúcar y el índice de madurez al cosecharlo.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en esta investigación, arribamos a las siguientes conclusiones:

1. El uso de los aglutinantes vegetales a diferentes concentraciones, así como, el alcalinizado a diferentes pH, varían la mayoría de las características físico – químicas de la panela granulada; pero, en función de los resultados y discusiones, también intervienen otras variables como: variables controlables no consideradas en la investigación (tiempo y gradiente de temperatura), variables internas y externas durante el proceso.
2. En los tratamientos estudiados, los valores del contenido de humedad y sólidos insolubles de la panela granulada, no presentaron diferencias significativas.
3. En los tratamientos estudiados, los resultados del contenido de cenizas y el valor de color, sólo presentaron diferencias significativas para el nivel de pH (factor C), donde las muestras reguladas a pH de 6,0 presentaron los resultados más bajos y que a su vez cumplen con los requisitos de calidad exigidos por instituciones y empresas nacionales e internacionales.
4. El contenido de azúcares reductores según los tratamientos estudiados, presentó diferencias significativas en el primer orden y las interacciones de tercer orden; en cambio las interacciones de segundo orden no presentaron diferencias significativas.
5. Las mejores muestras de panela granulada seleccionadas, según análisis estadístico, cumplen con los requisitos de la norma técnica de Colombia y según criterio

técnico, fueron: el tratamiento 3 en donde se usó cadillo a una concentración de 2,5 % (v/v), a pH de 6,0 (Ca: 2.5 %; pH: 6.0) y el tratamiento 7 en donde se usó balso a una concentración de 1,5 % (v/v), a pH de 6,0 (Ba: 1,5 %; pH: 6,0).

6. Las características físico – químicas mas resaltantes de los tratamientos seleccionados son: para el tratamiento 3: proteínas (1,30 %), sólidos insolubles (0,79 %), color (1064,43 UI), cenizas (1,51 %), azúcares reductores (0,79 %), sacarosa (90,62 %), grasa (0,68 %) y una pureza (92,90 %); y, para el tratamiento 7: proteínas (0,87 %), sólidos insolubles (0,64 %), color (935,73 UI), cenizas (1,54 %), azúcares reductores (1,01 %), sacarosa (91,67 %), grasa (0,72 %) y una pureza (94,11 %).
7. De los dos tratamientos seleccionados el que presenta mejores resultados, es el tratamiento 7.
8. Con los tratamientos seleccionados se puede desarrollar una tecnología para la producción de panela granulada, que cumpla con los requisitos de calidad de instituciones y empresas nacionales y extranjeras; por ende cumpla con los requerimientos del mercado nacional e internacional.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios sobre otros aglutinantes naturales para mejorar la clarificación del jugo.
2. Realizar estudios en donde, además de tener en cuenta el uso de reguladores orgánicos y aglutinantes vegetales, tener en cuenta otros factores como la filtración a presión.
3. Realizar investigaciones en las que se tenga en cuenta otras variables controlables como: tiempo y gradiente de temperatura.
4. Continuar las investigaciones sobre otros elementos orgánicos reguladores de pH en la producción de panela granulada, teniendo en cuenta el uso del mismo jugo de caña de azúcar como solvente, en lugar de agua, en la obtención de la solución alcalinizadora, de esta manera no añadir mas agua al jugo, por ende disminuir el tiempo del proceso y costos en la producción.
5. Realizar estudios de investigación en la caracterización de vitaminas y minerales de la panela granulada, teniendo como base las mejores muestras de panela granulada obtenidas en esta investigación.
6. Realizar estudios de aceptación de la panela granulada en relación al azúcar blanca, azúcar rubia doméstica y la chancaca; teniendo como base las mejores muestras de panela granulada obtenidas en esta investigación.
7. Realizar estudios en tipos de envases, en las que la panela granulada conserve sus características físico – químicas. Realizar investigaciones comparativas del uso de la

panela granulada en diferentes procesos productivos agroalimentarios, que requieran el uso de edulcorantes.

8. Hacer estudios de factibilidad para instalar plantas procesadoras de panela granulada en los valles interandinos y amazónicos de la región Amazonas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam E, 2004. Manual de funcionamiento del equipo AMB MOISTURE BALANCE. Editorial Adam equipment Company LTD. USA.
- Castro, W. y E. Castro. 2006. Manual de prácticas de análisis de productos agroindustriales. Amazonas. Carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- CEPICAFE. 2006. Productos – Panela. Disponible en: http://www.cepicafe.com.pe/3_2.htm. Acceso el 27 de octubre del 2006.
- Chen, J. 1997. Manual del Azúcar. Editorial LIMUSA, S.A. Balderas, México.
- Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A. 2004. Manual de Instrucciones del Proceso de Control de Calidad: I – PCC – 12. Determinación del % de pureza – método de la pureza aparente. Cartavio. Perú.
- Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A. 2004. Manual de Instrucciones del Proceso de Control de Calidad: I – PCC – 15. Medición de pH. Cartavio. Perú.
- Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A. 2004. Manual de Instrucciones del Proceso de Control de Calidad: I – PCC – 38. Determinación del % sacarosa (POL) – método directo. Cartavio. Perú.
- Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A. 2004. Manual de Instrucciones del Proceso de Control de Calidad: I – PCC – 41. Determinación del % azúcares reductores – método de Berlín. Cartavio. Perú.

- Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A. 2004. Manual de Instrucciones del Proceso de Control de Calidad: I – PCC – 68. Determinación de cenizas en azúcar rubia – método conductimétrico. Cartavio. Perú.
- Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A. 2004. Manual de Instrucciones del Proceso de Control de Calidad: I – PCC – 74. Medición del brix – método refractométrico. Cartavio. Perú.
- CORPOICA. 2006. Panela granulada. Video producido por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/Libreria/videos1.asp?id=1>. Acceso el 23 de noviembre del 2007.
- FONCODES, 2005. Elaboración de panela granulada. Video producido por FONCODES, área de comunicaciones, Lamas, San Martín, Perú.
- FONCODES, 2006. Línea de base para la producción de panela granulada en la provincia de Rodríguez de Mendoza. Programa a producir, RED Grano de Oro, Microcorredor socioeconómico Kuelap, Zonal Amazonas.
- Goode, M. y P. Hatt. 1986. Métodos de Investigación social. 14º reimpresión. Editorial Trillas S. A., México. 235pp.
- Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Ibero América. México.

- Panduro, J. 2007. Instalación de un modulo de proceso de panela granulada (azúcar orgánica) y evaluación de rendimientos en la cooperativa agraria cacaotera ACOPAGRO. Disponible en: http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2007/panduro_jc/html/index-frames.html.
- Prada, L. 2002. Mejoramiento de la calidad de la miel y panela mediante la limpieza de los jugos de caña. Colombia. CORPOICA, CIMPA. Disponible en: http://www.pronatta.gov.co/info_proyectos2/resumenes%20ejecutivos/981681301-r.doc. Acceso el 16 de septiembre del 2006.
- Rodríguez, G., H. Garcia, Z. Roa y P. Santacoloma. 2004. Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGS/subjects/en/agribusiness/Panela.pdf>. Acceso el 23 de noviembre del 2007.
- Sandoval, G., W. Mora, C. Tuz. 2004. Producción mecánica de panela granulada. Ecuador. Universidad técnica de Ambato. Facultad de ciencias e ingeniería en alimentos. Disponible en: <http://fcial.uta.edu.ec/archivos/ProduMecanicaPanelaG.pdf>. Acceso el 03 de mayo del 2007.
- Segura, M. 2003. Comparativo de variaciones de pH en jugo de caña (*Saccharum officinarum*) por acción de cenizas de guarango (*Acacia macracantha* B) y óxido de calcio, sobre las características fisico-químicas y sensoriales de la panela granulada. Trujillo. Tesis Br. Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Privada Antenor Orrego.

ANEXOS

ANEXO A

ALEATORIZACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Cuadro A.1: Aleatorización de las Unidades experimentales

Tipo Aglutinante.	a1: CADILLO						a2: BALSO					
Concentración del Aglutinante.	b1: 1,5 %		b2: 2,5 %		b3: 3,5 %		b1: 1,5 %		b2: 2,5 %		b3: 3,5 %	
Nivel pH	c1: 6,0	c2: 6,8	c1: 6,0	c2: 6,8	c1: 6,0	c2: 6,8	c1: 6,0	c2: 6,8	c1: 6,0	c2: 6,8	c1: 6,0	c2: 6,8
R I	7	11	6	3	5	10	4	9	8	2	12	1
R II	3	10	11	9	7	2	12	4	1	6	5	8
R III	11	8	3	12	6	9	2	7	5	1	10	4

R: Repetición

NOTA: Aleatorización usado para el proceso de obtención de panela así como también para los análisis físico – químicos.

ANEXO B

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro B.1: Base de datos del porcentaje de humedad de la panela granulada, a diferentes tratamientos estudiados y con tres repeticiones

TIPO DE AGLUTINANTE (A)		CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE (B)												Yi...
		1,5 % (B1)				2,5 % (B2)				3,5 % (B3)				
		NIVEL DE pH (C)				NIVEL DE pH (C)				NIVEL DE pH (C)				
		6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	
Cadillo (A1)	R1	1,96	7,65	2,70	11,20	1,51	6,96	3,13	8,00	2,39	6,94	3,29	8,48	49,24
	R2	3,08		5,21		3,52		2,75		2,21		2,86		
	R3	2,61		3,29		1,93		2,13		2,35		2,33		
Balso (A2)	R1	2,72	9,56	2,02	6,53	1,54	8,08	3,47	9,86	2,87	9,18	1,63	7,43	50,64
	R2	4,85		2,56		2,74		3,33		2,42		3,54		
	R3	1,99		1,96		3,80		3,06		3,89		2,25		
Totales B x C (Y.jk.)		17,21		17,73		15,04		17,86		16,13		15,91		99,88 = Y...
Y.j.:		34,93				32,91				32,04				

Totales A x B (Yij.)

A	B		
	1,50 %	2,50 %	3,50 %
Cadillo	18,85	14,96	15,43
Balso	16,09	17,94	16,61

Totales A x C (Yi.k.)

A	C	
	6,00	6,80
Cadillo	21,56	27,68
Balso	26,82	23,82

Ri: Repetición

Factor de Corrección = 277,09

Cuadro B.2: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Ft		Signific.
Tratamientos	7,10	11	0,65	0,88	2,22	5 %	N. S.
					3,10	1 %	
Tipo de Aglutinante (A)	0,05	1	0,05	0,07	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
Concentración de Aglutinante (B)	0,37	2	0,18	0,25	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Nivel de pH (C)	0,27	1	0,27	0,37	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
AB	1,44	2	0,72	0,98	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
AC	2,31	1	2,31	3,15	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
BC	0,42	2	0,21	0,29	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
ABC	2,24	2	1,12	1,53	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Error	17,60	24	0,73				
TOTAL	24,70	35					

Promedio (X) = 2,7744

Desviación estándar (Sx) = 0,8564

Coefficiente de Variación (C. V.) = 30,87%

Cuadro B.3: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de humedad de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

CLAVE	TRATAMIENTO	PROMEDIO HUMEDAD (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
T8	Ba: 1,5 %; pH: 6,8	2,18	a
T5	Ca: 3,5 %; pH: 6,0	2,31	a
T3	Ca: 2,5 %; pH: 6,0	2,32	a
T12	Ba: 3,5 %; pH: 6,8	2,48	a
T1	Ca: 1,5 %; pH: 6,0	2,55	a
T4	Ca: 2,5 %; pH: 6,8	2,67	a
T9	Ba: 2,5 %; pH: 6,0	2,69	a
T6	Ca: 3,5 %; pH: 6,8	2,83	a
T11	Ba: 3,5 %; pH: 6,0	3,06	a
T7	Ba: 1,5 %; pH: 6,0	3,19	a
T10	Ba: 2,5 %; pH: 6,8	3,29	a
T2	Ca: 1,5 %; pH: 6,8	3,73	a

Ti : Tratamiento

Ca : Cadillo

X % : Concentración del aglutinante vegetal

Ba: Balso

Cuadro B.4: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de humedad de la panela granulada, según factores (variable independiente)

NIVEL DEL FACTOR	FACTOR	PROMEDIO HUMEDAD (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
TIPO DE AGLUTINANTE			
A1	Cadillo	2,74	a
A2	Balso	2,81	a
CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE			
B3	3,50 %	2,67	a
B2	2,50 %	2,74	a
B1	1,50 %	2,91	a
NIVEL DE pH			
C1	6,0	2,69	a
C2	6,8	2,86	a

Cuadro B.5: Base de datos del porcentaje de cenizas de la panela granulada, a diferentes tratamientos estudiados y con tres repeticiones

TIPO DE AGLUTINANTE (A)		CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE (B)												Yi...
		1,5 % (B1)				2,5 % (B2)				3,5 % (B3)				
		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		
		6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	
Cadillo (A1)	R1	1,39	5,90	2,26	8,17	1,31	5,91	2,62	8,28	2,31	7,85	2,79	8,79	44,90
	R2	1,88		2,09		1,43		2,81		2,96		2,04		
	R3	2,63		3,82		3,17		2,84		2,59		3,96		
Balso (A2)	R1	1,51	6,05	2,03	7,60	1,45	6,65	3,12	8,63	1,58	6,63	3,19	9,46	45,02
	R2	1,70		2,76		1,81		3,18		2,36		3,29		
	R3	2,84		2,81		3,39		2,32		2,68		2,98		
Totales B x C (Y.jk.)		11,95		15,77		12,56		16,91		14,48		18,25		89,92 = Y....
Y.j.		27,72				29,47				32,73				

Totales A x B (Yij.)

A	B		
	1,50 %	2,50 %	3,50 %
Cadillo	14,07	14,19	16,65
Balso	13,65	15,28	16,08

Totales A x C (Yi.k.)

A	C	
	6,00	6,80
Cadillo	19,66	25,24
Balso	19,33	25,69

Factor de Corrección = 224,59

Cuadro B.6: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Ft		Signific.
Tratamientos	5,54	11	0,50	1,05	2,22	5 %	N. S.
					3,10	1 %	
Tipo de Aglutinante (A)	0,0004	1	0,0004	0,0008	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
Concentración de Aglutinante (B)	1,08	2	0,54	1,12	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Nivel de pH (C)	3,95	1	3,95	8,21	4,26	5 %	*
					7,82	1 %	**
AB	0,14	2	0,07	0,14	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
AC	0,02	1	0,02	0,04	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
BC	0,02	2	0,01	0,02	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
ABC	0,34	2	0,17	0,35	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Error	11,57	24	0,48				
TOTAL	17,11	35					

Promedio (X) = 2,4977

Desviación estándar (Sx) = 0,6942

Coefficiente de Variación (C.V.) = 27,79%

Cuadro B.7: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de cenizas de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

CLAVE	TRATAMIENTO	PROMEDIO CENIZAS (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
T1	Ca: 1,5 %; pH: 6,0	1,967	a
T3	Ca: 2,5 %; pH: 6,0	1,970	a
T7	Ba: 1,5 %; pH: 6,0	2,02	a
T11	Ba: 3,5 %; pH: 6,0	2,21	a
T9	Ba: 2,5 %; pH: 6,0	2,22	a
T8	Ba: 1,5 %; pH: 6,8	2,53	a
T5	Ca: 3,5 %; pH: 6,0	2,62	a
T2	Ca: 1,5 %; pH: 6,8	2,72	a
T4	Ca: 2,5 %; pH: 6,8	2,76	a
T10	Ba: 2,5 %; pH: 6,8	2,88	a
T6	Ca: 3,5 %; pH: 6,8	2,93	a
T12	Ba: 3,5 %; pH: 6,8	3,15	a

Cuadro B.8: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de cenizas de la panela granulada, según factores (variable independiente)

NIVEL DEL FACTOR	FACTOR	PROMEDIO CENIZAS (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
TIPO DE AGLUTINANTE			
A1	Cadillo	2,49	a
A2	Balso	2,50	a
CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE			
B1	1,50 %	2,31	a
B2	2,50 %	2,46	a
B3	3,50 %	2,73	a
NIVEL DE pH			
C1	6,0	2,17	a
C2	6,8	2,83	b

Cuadro B.9: Base de datos del porcentaje de azúcares reductores de la panela granulada, a diferentes tratamientos estudiados y con tres repeticiones

TIPO DE AGLUTINANTE (A)		CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE (B)												Yi...
		1,5 % (B1)				2,5 % (B2)				3,5 % (B3)				
		NIVEL DE pH (C)				NIVEL DE pH (C)				NIVEL DE pH (C)				
		6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	
Cadillo (A1)	R1	0,77	2,37	0,49	1,97	0,74	2,38	0,51	1,82	0,86	2,54	0,34	1,11	12,19
	R2	0,84		0,86		0,87		0,72		0,83		0,41		
	R3	0,76		0,62		0,77		0,59		0,84		0,35		
Balso (A2)	R1	0,87	3,03	0,76	1,82	0,66	2,30	0,95	2,49	0,85	2,48	0,67	2,38	14,49
	R2	1,13		0,66		0,87		0,79		0,85		0,86		
	R3	1,02		0,40		0,77		0,75		0,78		0,84		
Totales B x C (Yjk.)		5,40		3,79		4,68		4,31		5,01		3,49		26,68 = Y...
Y.j.		9,19				8,99				8,50				

Totales A x B (Yij..)

A	B		
	1,50 %	2,50 %	3,50 %
Cadillo	4,34	4,20	3,65
Balso	4,85	4,79	4,85

Totales A x C (Yi.k.)

A	C	
	6,00	6,80
Cadillo	7,29	4,90
Balso	7,80	6,69

Factor de Corrección = 19,77

Cuadro B.10: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Ft		Signific.
Tratamientos	0,86	11	0,08	6,63	2,22	5 %	*
					3,10	1 %	**
Tipo de Aglutinante (A)	0,15	1	0,15	12,40	4,26	5 %	*
					7,82	1 %	**
Concentración de Aglutinante (B)	0,02	2	0,01	0,89	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Nivel de pH (C)	0,34	1	0,34	28,96	4,26	5 %	*
					7,82	1 %	**
AB	0,02	2	0,01	1,05	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
AC	0,04	1	0,04	3,81	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
BC	0,08	2	0,04	3,37	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
ABC	0,20	2	0,10	8,56	3,40	5 %	*
					5,61	1 %	**
Error	0,28	24	0,01				
TOTAL	1,14	35					

Promedio (X) = 0,7411

Desviación estándar (Sx) = 0,1085

Coefficiente de Variación (C.V.) = 14,64%

Cuadro B.11: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de azúcares reductores de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

CLAVE	TRATAMIENTO	PROMEDIO AZUC. RED. (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)		
T6	Ca: 3,5 %; pH: 6,8	0,371	a		
T8	Ba: 1,5 %; pH: 6,8	0,607	a	b	
T4	Ca: 2,5 %; pH: 6,8	0,607	a	b	
T2	Ca: 1,5 %; pH: 6,8	0,656	a	b	
T9	Ba: 2,5 %; pH: 6,0	0,766		b	c
T1	Ca: 1,5 %; pH: 6,0	0,791		b	c
T12	Ba: 3,5 %; pH: 6,8	0,793		b	c
T3	Ca: 2,5 %; pH: 6,0	0,794		b	c
T11	Ba: 3,5 %; pH: 6,0	0,825		b	c
T10	Ba: 2,5 %; pH: 6,8	0,829		b	c
T5	Ca: 3,5 %; pH: 6,0	0,845		b	c
T7	Ba: 1,5 %; pH: 6,0	1,009			c

Cuadro B.12: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de azúcares reductores de la panela granulada, según factores

NIVEL DEL FACTOR	FACTOR	PROMEDIO AZÚC. RED. (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)		
TIPO DE AGLUTINANTE					
A1	Cadillo	0,68	a		
A2	Balso	0,80			b
CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE					
B3	3,50 %	0,71		a	
B2	2,50 %	0,75		a	
B1	1,50 %	0,77		a	
NIVEL DE pH					
C2	6,8	0,64	a		
C1	6,0	0,84			b

Cuadro B.13: Base de datos del valor del color (UI) de la panela granulada, a diferentes tratamientos estudiados y con tres repeticiones

TIPO DE AGLUTINANTE (A)		CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE (B)												Yi...
		1,5 % (B1)				2,5 % (B2)				3,5 % (B3)				
		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		NIVEL DE pH (C)		
		6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	
Cadillo (A1)	R1	1140,89	3236,88	1844,84	4867,28	934,56	3193,28	1146,15	4307,56	1177,24	4199,04	1270,73	4809,02	24613,06
	R2	1298,67		2088,47		1171,06		2329,67		2342,12		2354,58		
	R3	797,32		933,97		1087,67		831,74		679,68		1183,71		
Balso (A2)	R1	896,98	2807,19	2002,62	4751,25	970,20	2701,87	1758,27	4312,18	2130,34	3841,46	1943,47	4484,92	22898,87
	R2	1362,04		1632,01		971,73		1357,93		971,73		1532,35		
	R3	548,16		1116,61		759,94		1195,98		739,40		1009,11		
Totales B x C (Y.jk.)		6044,06		9618,53		5895,16		8619,74		8040,51		9293,94		47511,93 = Y...
Y.j.		15662,59				14514,90				17334,45				

Totales A x B (Yij.)

A	B		
	1,50 %	2,50 %	3,50 %
Cadillo	8104,16	7500,84	9008,06
Balso	7558,43	7014,05	8326,38

Totales A x C (Yi.k.)

A	C	
	6,00	6,80
Cadillo	10629,20	13983,86
Balso	9350,52	13548,35

Factor de Corrección = 62705103,82

Cuadro B.14: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Ft		Signific.
Tratamientos	2261415,76	11	205583,25	0,71	2,22	5 %	N. S.
					3,10	1 %	
Tipo de Aglutinante (A)	81623,57	1	81623,57	0,28	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
Concentración de Aglutinante (B)	335060,30	2	167530,15	0,58	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Nivel de pH (C)	1584444,30	1	1584444,30	5,49	4,26	5 %	*
					7,82	1 %	N. S.
AB	1664,99	2	832,49	0,0029	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
AC	19748,07	1	19748,07	0,07	4,26	5 %	N. S.
					7,82	1 %	
BC	229826,50	2	114913,25	0,40	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
ABC	9048,04	2	4524,02	0,02	3,40	5 %	N. S.
					5,61	1 %	
Error	6931448,56	24	288810,36				
TOTAL	9192864,32	35					

Promedio (X) = 1319,7759

Desviación estándar (Sx) = 537,4108

Coefficiente de Variación (C.V.) = 40,72%

Cuadro B.15: Prueba Tukey aplicadas al análisis de color de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

CLAVE	TRATAMIENTO	PROMEDIO COLOR (UI)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
T9	Ba: 2,5 %; pH: 6,0	900,62	a
T7	Ba: 1,5 %; pH: 6,0	935,73	a
T3	Ca: 2,5 %; pH: 6,0	1064,43	a
T1	Ca: 1,5 %; pH: 6,0	1078,96	a
T11	Ba: 3,5 %; pH: 6,0	1280,49	a
T5	Ca: 3,5 %; pH: 6,0	1399,68	a
T4	Ca: 2,5 %; pH: 6,8	1435,85	a
T10	Ba: 2,5 %; pH: 6,8	1437,39	a
T12	Ba: 3,5 %; pH: 6,8	1494,97	a
T8	Ba: 1,5 %; pH: 6,8	1583,75	a
T6	Ca: 3,5 %; pH: 6,8	1603,01	a
T2	Ca: 1,5 %; pH: 6,8	1622,43	a

Cuadro B.16: Prueba Tukey aplicadas al análisis de color de la panela granulada, según factores

NIVEL DEL FACTOR	FACTOR	PROMEDIO COLOR (UI)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
TIPO DE AGLUTINANTE			
A2	Balso	1272,16	a
A1	Cadillo	1367,39	a
CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE			
B2	2,50 %	1209,57	a
B1	1,50 %	1305,22	a
B3	3,50 %	1444,54	a
NIVEL DE pH			
C1	6,0	1109,98	a
C2	6,8	1529,57	b

Cuadro B.17: Base de datos del porcentaje de sólidos insolubles de la panela granulada, a diferentes tratamientos estudiados y con tres repeticiones

TIPO DE AGLUTINANTE (A)		CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE (B)												Yi...
		1,5 % (B1)				2,5 % (B2)				3,5 % (B3)				
		NIVEL DE pH (C)				NIVEL DE pH (C)				NIVEL DE pH (C)				
		6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	6,0 (C1)	Yijk.	6,8 (C2)	Yijk.	
Cadillo (A1)	R1	1,30	2,90	2,37	3,24	1,34	2,38	1,42	2,63	1,22	2,28	1,65	2,71	16,14
	R2	0,81		0,35		0,52		0,61		0,41		0,56		
	R3	0,79		0,53		0,52		0,59		0,66		0,50		
Balso (A2)	R1	1,05	1,92	1,43	2,72	1,89	2,91	1,47	2,47	2,50	3,51	1,60	2,60	16,13
	R2	0,28		0,71		0,41		0,47		0,35		0,51		
	R3	0,60		0,58		0,62		0,53		0,66		0,50		
Totales B x C (Y.jk.)		4,82		5,96		5,29		5,09		5,79		5,31		32,27 = Y....
Y.j.		10,78				10,38				11,10				

Totales A x B (Yij..)

A	B		
	1,50 %	2,50 %	3,50 %
Cadillo	6,14	5,00	4,99
Balso	4,64	5,38	6,11

Totales A x C (Yi.k.)

A	C	
	6,00	6,80
Cadillo	7,56	8,58
Balso	8,34	7,79

Factor de Corrección = 28,92

Cuadro B.18: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Ft		Signific.
Tratamientos	0,66	11	0,06	0,13	2,22	5%	N. S.
					3,10	1%	
Tipo de Aglutinante (A)	0,0000002	1	0,0000002	0,0000004	4,26	5%	N. S.
					7,82	1%	
Concentración de Aglutinante (B)	0,02	2	0,01	0,02	3,40	5%	N. S.
					5,61	1%	
Nivel de pH (C)	0,01	1	0,01	0,01	4,26	5%	N. S.
					7,82	1%	
AB	0,30	2	0,15	0,3337	3,40	5%	N. S.
					5,61	1%	
AC	0,07	1	0,07	0,15	4,26	5%	N. S.
					7,82	1%	
BC	0,13	2	0,06	0,14	3,40	5%	N. S.
					5,61	1%	
ABC	0,14	2	0,07	0,15	3,40	5%	N. S.
					5,61	1%	
Error	10,89	24	0,45				
TOTAL	11,55	35					

Promedio (X) = 0,8963

Desviación estándar (Sx) = 0,6735

Coefficiente de Variación (C.V.) = 75,14%

Cuadro B.19: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de sólidos insolubles de la panela granulada, según los tratamientos estudiados

CLAVE	TRATAMIENTO	PROMEDIO SÓLIDOS INSOL. (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
T7	Ba: 1,5 %, pH: 6,0	0,641	a
T5	Ca: 3,5 %, pH: 6,0	0,762	a
T3	Ca: 2,5 %, pH: 6,0	0,792	a
T10	Ba: 2,5 %, pH: 6,8	0,823	a
T12	Ba: 3,5 %, pH: 6,8	0,867	a
T4	Ca: 2,5 %, pH: 6,8	0,875	a
T6	Ca: 3,5 %, pH: 6,8	0,903	a
T8	Ba: 1,5 %, pH: 6,8	0,906	a
T1	Ca: 1,5 %, pH: 6,0	0,966	a
T9	Ba: 2,5 %, pH: 6,0	0,971	a
T2	Ca: 1,5%, pH: 6,8	1,081	a
T11	Ba: 3,5 %, pH: 6,0	1,169	a

Cuadro B.20: Prueba Tukey aplicadas al porcentaje de sólidos insolubles de la panela granulada, según factores

NIVEL DEL FACTOR	FACTOR	PROMEDIO SÓLIDOS INSOL. (%)	TUCKEY ($\alpha = 0,05$)
TIPO DE AGLUTINANTE			
A2	Balso	0,90	a
A1	Cadillo	0,90	a
CONCENTRACIÓN DEL AGLUTINANTE			
B2	2,50 %	0,87	a
B1	1,50 %	0,90	a
B3	3,50 %	0,93	a
NIVEL DE pH			
C1	6,0	0,88	a
C2	6,8	0,91	a

ANEXO C

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LA PANELA GRANULADA

1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD – MÉTODO AUTOMÁTICO (BALANZA DE DETERMINACIÓN DE HUMEDAD)

1.1. PROPÓSITO

La humedad representa el contenido de agua libre, es decir, a la pérdida de peso por eliminación del agua libre, expresado en porcentaje. El agua se elimina por calentamiento de la muestra en una balanza automática de determinación de humedad, a una temperatura de 121° C, hasta peso constante.

1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza de determinación de humedad Modelo AMB MOISTURE BALANCE
- Espátula con mango de madera

1.3. PROCEDIMIENTO

- Conectar correctamente al circuito eléctrico de la balanza de humedad.
- Encender el equipo.
- Calibrar el equipo.
- Pesar entre 2 y 3 g de muestra de panela granulada tratando de que quede esparcido en toda la superficie del plato de aluminio que porta la muestra (accesorio del equipo).
- Proceder a la determinación automática de la humedad, hasta que suene la alarma que es señal del final de la prueba.
- Tomar nota del porcentaje final de la humedad de la muestra, mostrada en la pantalla del equipo.

2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS SULFATADAS – MÉTODO GRAVIMÉTRICO

2.1. PROPÓSITO

El método se basa en la determinación de cenizas utilizando ácido sulfúrico concentrado, el cual se le adiciona a la muestra de panela granulada y luego se somete a un proceso de combustión.

2.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Balanza analítica
- Mufla
- Cocina eléctrica

Materiales

- Crisol de 100 ml
- Pipeta de 5 ml
- Desecador
- Pinza porta crisol

Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)

2.3. PROCEDIMIENTO

- Pesar el crisol (Pc) precalentado a peso constante y enfriado en una balanza analítica con una tolerancia de $\pm 0,0001$ g.
- Pesar 4 g de panela (Pm) en una balanza analítica con una precisión de $\pm 0,0001$ g.
- Añadir 4ml de ácido sulfúrico concentrado gota a gota, hasta mojar completamente.

- Calentar en una cocina eléctrica hasta carbonizar por 20 minutos, para impedir salpicaduras cuando el crisol se coloca en el horno.
- Pasar el crisol con la muestra carbonizada a la mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ por 2 horas, hasta que el carbón se haya quemado.
- Completado el tiempo sacar el crisol, se dejó enfriar hasta cerca de temperatura ambiente, adicionar 2 ml de ácido sulfúrico concentrado, gota a gota de modo que se humedezca todo el material.
- Calentar el crisol al aire libre en una cocina eléctrica por 20 minutos., para que el ácido sulfúrico se evapore sin pérdidas o salpicaduras.
- Colocar el crisol dentro de la mufla a 600°C por 2 horas.
- Cumplido el tiempo retirar el crisol de la mufla y dejar enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
- Pesarse el crisol y el contenido (Pf) en una balanza analítica, con precisión de 0,0001 g.

2.4. CÁLCULOS

$$\%Cenizas = \frac{Pf - Pc}{Pm} * 100$$

Donde: Pf: peso del crisol final con la ceniza

Pc: peso del crisol inicial

Pm: peso de la muestra

3. DETERMINACIÓN DEL COLOR – MÉTODO ICUMSA

3.1. PROPÓSITO

Determinar el color en una solución de panela granulada previamente filtrada. Este análisis se basa en que el color de una solución filtrada de azúcar es directamente proporcional a su absorbancia, a una longitud de onda de 550 nm.

3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Balanza analítica
- Sistema de filtración al vacío
- Espectrofotómetro. Modelo Genesys 10 VIS
- Refractómetro óptico
- Agitador magnético

Materiales

- Papel filtro cualitativo de velocidad lenta
- Vaso de precipitación de 250 ml
- Bagueta

Reactivos

- Agua destilada filtrada

3.3. PROCEDIMIENTO

- Pesar 10 g de muestra de panela granulada en un vaso de precipitación.
- Adicionar 115 ml de agua destilada.
- Colocar la solución azucarada en el agitador magnético para disolver bien la panela.
- Filtrar la solución usando un equipo de filtración al vacío y el papel filtro.
- Determinar los sólidos solubles (W %) de la solución azucarada filtrada haciendo uso del refractómetro.
- Enjuagar 3 veces la celda del espectrofotómetro con la solución filtrada; posteriormente llenar la cubeta con la solución de panela, evitando la formación de burbujas.
- Limpiar la parte exterior de la celda de la cubeta con papel Tissue, de manera que no queden residuos de solución. Colocar la cubeta en el espectrofotómetro y realizar la medición de la absorbancia (A_s) y el

porcentaje de transmitancia (% T) a una longitud de onda de 550nm. Usar agua destilada filtrada como blanco.

3.4. CÁLCULOS

El color se expresa en unidades ICUMSA (UI) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Color (UI)} = \frac{As * 1000}{b * C}$$

Donde: As: Absorbancia

b: Longitud de celda (1 cm)

C: valor de acuerdo al °Brix leído (g/cm³). (VER Tabla para color - Método ICUMSA).

TABLA PARA COLOR – MÉTODO ICUMSA

W (%)	C (g/cm ³)
7,4	0,076032
7,5	0,077090
7,6	0,078149
7,7	0,079209
7,8	0,080269
7,9	0,081330
8,0	0,082392
8,1	0,083455
8,2	0,084519

I. DETERMINACIÓN CUALITATIVA DEL COLOR – CARTA DE COLOR DE MUNSELL

4.1. PROPÓSITO

Determinar el color cualitativo de la panela granulada utilizando la carta de color de Munsell, reportada por García en “Condiciones ambientales para la conservación de la panela”.

4.2. MATERIALES

- Carta de colores de Munsell

4.3. PROCEDIMIENTO

Comparar el color de la panela granulada obtenida, con la carta de colores de Munsell, siguiente:

1	Amarillo Ocre	<input type="text"/>
2	Ocre Tostado	<input type="text"/>
3	Naranja Mineral	<input type="text"/>
4	Siena	<input type="text"/>
5	Cobre	<input type="text"/>

Fuente: Sandoval *et al.*, (2004).

5. DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES – MÉTODO BERLÍN

5.1. PROPÓSITO

Determinar el porcentaje de azúcar invertido en la panela granulada por el Método de Berlín. Se emplea una solución de Muller compuesta por CuSO_4 como principal agente reductor. Cuando se calienta en un baño de agua, el azúcar invertido reduce los iones cúpricos a óxido cuproso. Después de enfriar, los iones cúpricos residuales son titulados con una solución de yodo.

5.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Balanza analítica de precisión
- Baño de agua; manteniendo su punto de ebullición

Materiales

- Matraz 250 ml

- Buretas y pipetas
- Cronómetro

Reactivos

- Agua desionizada
- Ácido acético 5,0 N
- Solución de Muller
- Yodo 0,0333 N
- Almidón al 1,0 % w/v
- Tiosulfato de sodio 0.0333 N

5.3. PROCEDIMIENTO

- Pesar 2 g de muestra de panela granulada y transferir a un erlenmeyer de 250 ml y disolver.
- Agregar 10 ml de la solución Muller, agitar.
- Llevar a un baño de agua con hervor vigoroso durante 10 min, cumplido el tiempo enfriar en baño de agua helada tapando el matraz con un vaso plástico.
- Adicionar 5 ml de ácido Acético 5 N con pipeta.
- Adicionar con la bureta 20ml de yodo 0,0333 N, agitar y observar que el precipitado de cobre se disuelva hasta un color verde petróleo y si no fuera así agregar más yodo. Anotar el gasto de yodo.
- Agregar 1ml de almidón 1.0 % w/v y titular luego con la solución de Tiosulfato de sodio 0,0333 N hasta la aparición de un color verde esmeralda. Anotar el gasto de Tiosulfato de sodio.

5.4. CÁLCULOS

$$\% \text{ Azúcar Reductor} = [(I * F_i - T * F_t) * 100] / \text{Peso muestra (mg)}$$

Donde: I : Volumen de solución de yodo requerido en ml

F_i : Factor de valoración de yodo

T : Volumen de solución de Tiosulfato de sodio en ml (gasto)

F_t : Factor de valoración del Tiosulfato de sodio.

6. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS INSOLUBLES – MÉTODO GRAVIMÉTRICO

6.1. PROPÓSITO

Determinar la cantidad de sedimentos (insolubles) en la panela granulada por el Método Gravimétrico. El método se basa en la retención de sustancias insolubles en la membrana filtrante y su posterior cuantificación gravimétrica.

6.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Cocina eléctrica
- Sistema de filtración al vacío
- Balanza analítica
- Estufa

Materiales

- papel filtro cuantitativo n.º 202
- Placa petri.

Reactivos

- Agua destilada filtrada

6.3. PROCEDIMIENTO

- Pesar 10 g de panela en un vaso de precipitado mediante una balanza analítica con una precisión de 0,0001 g.
- Adicionar agua destilada y solubilizar por medio de una cocina eléctrica.
- Una vez solubilizado aforar a 100 ml lavando bien el vaso de precipitado.
- Tomar una alícuota de 25 ml de solución al 10 % p/v y esta se filtra al vacío mediante un papel filtro cuantitativo n.º 202 utilizando una bomba de vacío.
- Secar el papel filtro con la torta de sólidos en una estufa durante 3 horas.
- Dejar enfriar en un desecador y pesar.

6.4. CÁLCULOS

El porcentaje de sólidos insolubles se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\%SI = \frac{4 * (W_f - W_i)}{W_{muestra}} * 100$$

Donde: W_i : Peso del papel filtro vacío en g

W_f : Peso del papel filtro con los sólidos retenidos durante la filtración en g.

$W_{muestra}$: Peso de la muestra en g.

7. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS – MÉTODO KJELDAHL

7.1. PROPÓSITO

Aplicar el método kjeldahl para determinar el porcentaje de proteínas en productos agroindustriales. El método se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila recibiendo en ácido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico.

7.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Equipo compacto de digestión MBC/02
- Destilador de nitrógeno DPN - 2000
- Balanza analítica
- Campana extractora de gases
- Equipo de titulación

Materiales

- Matraz erlenmeyer
- Vasos de precipitación de 50, 100 y 200 ml

- Probeta de 100 ml

Reactivos

- Catalizador
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución de NaOH al 40 %
- Ácido bórico
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico 0,25 N

7.3. PROCEDIMIENTO

Digestión:

- Encender el equipo compacto de digestión MBC/02 y seleccionar a 420° C de temperatura de trabajo.
- Colocar dentro del tubo del equipo: 1 g de muestra (W) + 5 g de catalizador + 15 ml de ácido sulfúrico concentrado, respectivamente. (De ser posible utilizar los 6 tubos con muestras diferentes).
- Colocar el colector de humos y encender la campana extractora.
- Colocar los tubos al sistema calefactor cuando éste ha alcanzado la temperatura de trabajo.
- Esperar un tiempo de 45 minutos a 1 hora hasta que termine la digestión, el material contenido en el tubo se tornará de color verde esmeralda translucido, lo cual indicará el final de la digestión.
- Retirar los tubos del sistema calefactor y enfriar hasta aproximadamente 60 – 80° C.
- Agregar inmediatamente 75 ml de agua destilada.
- Dejar enfriar los tubos hasta temperatura ambiente.

Destilación:

- Colocar el tubo de muestra en el soporte del destilador de nitrógeno DPN – 2000.
- En un matraz de 250 ml agregar 25 ml de solución (ácido bórico + indicador mixto) y sumergir el tubo de salida del destilador.

- Programar en 2 minutos el reloj controlador de NaOH y presionar el botón START del equipo, se agregará automáticamente 80 ml de NaOH al tubo de muestra, pasado este tiempo regresar el reloj a cero.
- Programar en 8 minutos de reloj controlador de destilación y presionar el botón START del equipo, automáticamente empezará la destilación de la muestra durante el tiempo programado, pasado este tiempo regresar el reloj a cero.
- El producto de la destilación se recogerá en el matraz hasta un volumen de 150 ml, tomando una coloración verde claro.
- Programar en 10 minutos el reloj controlador de succión y presionar el botón START del equipo, automáticamente empezará la succión del residuo contenido en el tubo de muestra durante el tiempo programado, pasado este tiempo regresar el reloj a cero.
- Llenar el tubo de muestra con agua destilada y repetir el paso anterior.
- Retirar el matraz del equipo y realizar la titulación.

Titulación:

- Llenar la bureta con HCl 0,25 N y realizar la titulación hasta un viraje de color palo rosa.
- Anotar el gasto

7.4. CÁLCULOS

- Calcular el porcentaje de nitrógeno mediante la siguiente ecuación:

$$\%N = 100 \left(\frac{0,014 * (V * N)}{W} \right)$$

Donde: N: Contenido de nitrógeno, %
 V: Volumen gastado de HCl, ml
 W: Peso de muestra, g

- Calcular el porcentaje de proteína mediante la siguiente ecuación:

$$\%Proteina = \%N * f$$

Donde: f: Factor (6,25)

8. DETERMINACIÓN DE GRASA TOTAL – MÉTODO SOXHLET

8.1. PROPÓSITO

Aplicar el método Soxhlet para determinar el porcentaje de grasa de una muestra de panela granulada. Este método consiste en la extracción de lípidos mediante un solvente (hexano, éter de petróleo) a su temperatura de ebullición del solvente, este solvente extrae las grasas de la muestra, se deposita en el matraz, previamente pesado y se calcula el contenido de grasa por diferencia de peso.

8.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Balanza analítica
- Equipo Soxhlet completo

Materiales

- Bagueta
- Vasos de precipitación de 50 ml
- Papel de filtro
- Pissetas
- Hilo pabilo

Reactivos

- Éter de petróleo

8.3. PROCEDIMIENTO

- Desecar el balón, en una estufa a 110° C.
- Enfriar el balón en una campana de desecación.
- Pesar el balón frío (P1).
- Pesar 5 g de muestra de panela granulada (P2).
- Empaquetar la muestra en papel de filtro.
- Colocar el paquete en el cuerpo del aparato soxhlet, previamente montado.

- Añadir disolvente hasta una altura adecuada para luego poder ser sifoneado hacia el balón.
- Conectar la fuente de calor.
- Controlar por aproximadamente 2 horas.
- Sacar el balón cuando contenga poco disolvente, momentos antes de ser sifoneado.
- Colocar el balón en una fuente de calor para evaporar el sobrante de disolvente, tenga cuidado ante combustión violenta del disolvente.
- Enfriar el balón en una campana de desecación.
- Pesar el balón nuevamente (P3).

8.4. CÁLCULOS

Expresar el porcentaje de grasa del balón según la siguiente fórmula:

$$\%Grasa = 100 \left(\frac{P3 - P1}{P2} \right)$$

Donde: P1: Peso del balón vacío, g

P2: Peso de la muestra, g

P3: Peso del balón con la grasa extraída, g

ANEXO D

REQUISITOS DE CALIDAD, FICHAS TÉCNICAS Y RESULTADOS DE INVESTIGACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LA PANELA GRANULADA

REQUISITOS DE CALIDAD DE LA PANELA GRANULADA

1.1. MEDIDAS SANITARIAS SOBRE LA PANELA – NORMA SANITARIA DE COLOMBIA

En Colombia, las normas sanitarias sobre la panela se rigen mediante la Resolución n.º 002284 del 27 de junio de 1995, expedida por el Ministerio de salud cuyos principales aportes se presentan a continuación:

➤ ARTÍCULO PRIMERO:

Definiciones: Para efectos de la presente resolución adóptense las siguientes definiciones:

PANELA: Producto obtenido de la extracción y evaporación de los jugos de la caña de azúcar, elaborado en los establecimientos denominados trapiches paneleros.

TRAPICHE PANELERO: Establecimiento donde se extrae y evapora el jugo de la caña de azúcar y se elabora la panela.

PANELA ADULTERADA: Aquella a la cual se le han adicionado productos o sustancias no permitidos o se le han sustituido parte de sus elementos constitutivos naturales.

PANELA ALTERADA: Aquella que ha sufrido cambios en su color, textura y apariencia debido a ataques de insectos, roedores, ablandamientos o fermentaciones, generalmente ocasionadas por deficiencias en la fabricación o en el almacenamiento.

PANELA CUADRADA Y RECTANGULAR: Aquella que tiene forma geométrica de un paralelepípedo.

PANELA DESPORTILLADA O PARTIDA: Aquella que por golpes o manipuleo inadecuado ha sufrido roturas, quedando fragmentos o trozos de una panela.

PANELA EN POLVO O GRANULADA: Aquella que por el proceso de deshidratación y/o molienda se obtiene en forma de polvo o granulada.

PANELA REDONDA: Aquella cuya forma se puede comparar con una semiesfera irregular, bien sea aplanada o achatada.

PANELA EN OTRAS FORMAS: Aquella que por el proceso de elaboración se obtiene en diferentes formas.

MATERIAS EXTRAÑAS: Los restos de vegetales, arena, tierra, insectos u otro tipo de impurezas sedimentables o no presentes en la panela.

TEXTURA: Característica de la panela debida a la relación de azúcares reductores y sacarosa, la cual determina su consistencia y dureza.

➤ **ARTÍCULO SEGUNDO:**

De la clasificación de la panela: Para efectos de la presente Resolución, la panela se clasifica en dos categorías:

EXTRA: La que esta envasada individualmente o por unidades y bajo estas condiciones se expende al consumidor, rotulado conforme a lo establecido en la presente Resolución y cumple con los requisitos de calidad fijados en el artículo tercero.

CORRIENTE: La que está en embalaje a granel pero se expende al consumidor sin envase y cumple con los requisitos de calidad establecidos en el artículo tercero.

➤ **ARTÍCULO TERCERO:**

De los requisitos de calidad de la panela: La panela debe cumplir con los requisitos de calidad que a continuación se establecen:

Cuadro D.1: Requisitos fisico-químicos de panela

REQUISITOS	MÍNIMO	MÁXIMO
Azúcares Reductores (%)	5,5	-
Sacarosa (%)	73,0	83,0
Proteínas en % (N x 6,25)	0,2	-
Cenizas (%)	0,8	1,9
Humedad (%)	-	9,0
Color en % T (550 nm)	30,0	85,0
Plomo (mg/dm ³)	-	0,2
Arsénico (mg/dm ³)	-	0,1
SO ₂	NEGATIVO	
Colorantes	NEGATIVO	

Fuente: Resolución n.º 002284, M. Salud de Colombia, 1995 (Citado por Segura, 2003).

1.2. REQUISITOS DE CALIDAD DE LA PANELA SEGÚN EL INSTITUTO ANBOISSE DE FRANCIA

Cuadro D.2: Requisitos físico – químicos

Requisitos	Mínimo	Máximo
Azúcares Reductores expresados en % de Glucosa	5,5	-
Azúcares no Reductores expresados en % de Sacarosa	-	83
Proteínas en % (N x 6,25)	0,2	-
Cenizas en %	0,8	-
Humedad en %	-	9
Plomo expresado: Pb en mg/kg	-	0,2
Arsénico expresado: As en mg/kg	-	0,1
SO ₂	-	NEGATIVO
Colorantes	-	NEGATIVO

Fuente: Instituto Anboisse de Francia (Citado por Panduro, 2007)

2. FICHA TÉCNICA DE LA PANELA GRANULADA

2.1. FICHA TÉCNICA ESTABLECIDA POR CEPICAFE

Cuadro D.3: Ficha técnica de la panela granulada, establecida por la Central Piurana de Cafetaleros (CEPICAFE)

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
NOMBRE	PANELA GRANULADA
DESCRIPCIÓN FÍSICA	Sólido granulado, producto de la concentración de los jugos de caña de azúcar, soluble en agua, con tonos de amarillo, pardo o pardo oscuro, sabor y olor característico. Tamaño de partícula hasta 2,5 mm.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO/ QUÍMICAS	Brix = 96° a 98° Azúcares reductores = 5,5 – 11 % Ph = 5,8 – 6,2 Sólidos sedimentables = 0,8 – 1,5 % Humedad = 1,6 – 5 %
COMPOSICION PROMEDIO	Hierro = 2,4 mg/100 g Carbohidratos = 82 – 85 % Sódio = 20 - 80 mg/100 g Calcio = 80 - 250 mg/100 g Cenizas = 1,5 - 2,0 % Hierro = 2,4 mg/100 g Nitrógeno = 0,2 % Fósforo = 40 - 120 mg/100 g Zinc = 2,5 mg/100 g Fibra = 0 Poder energético = 351 cal /100g
FORMA DE CONSUMO Y CONSUMIDOR POTENCIAL	Consumo familiar, industrial e Institucional. Como bien básico, edulcorante y aromatizante de bebidas frías y calientes, suplemento energético en la dieta, materia prima en las industrias panificadora, farmacéutica y cosmética.
VIDA ÚTIL	7 meses, en condiciones normales de almacenamiento. 8 meses bajo condiciones controladas: Humedad relativa 15 %, temperatura 10° C.
INSTRUCCIONES EN LA ETIQUETA	Consérvese bien tapado en lugar seco y fresco, consumase en el menor tiempo posible una vez abierto.
CONTROLES ESPECIALES DURANTE DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN	Inspección visual para detectar hidratación y compactación, presencia de hongos, conservación del empaque, tanto en el almacenamiento como en exhibición

Fuente: Revista Informativa CEPICAFE (Citado por Panduro, 2007).

3. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES RELACIONADOS A LA PANELA GRANULADA

3.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA PANELA GRANULADA OBTENIDAS POR SEGURA (2003)

Cuadro D.4: Composición fisicoquímica de la panela granulada con ceniza de guarango (PGCe) y panela granulada con cal (PGCa)

COMPONENTES	PGCe (pH 5,6)	PGCa (pH 5,8)
Humedad (%)	1,50	1,50
Proteínas (%)	0,87	0,65
Nitrógeno (%)	0,13	0,104
Grasa (%)	0,20	0,20
Azúcares reductores (%)	3,70	3,69
Sacarosa (%)	89,18	89,78
Cenizas (%)	1,22	1,38
Color (% T)	56,89	55,75
Minerales (mg/100 g)		
Magnesio	61,22	41,00
Sodio	27,50	32,00
Potasio	15,30	12,80
Calcio	160,00	83,00
Fósforo	27,00	32,00
Zinc	0,80	1,20
Hierro	15,00	11,00

Fuente: Segura (2003).

3.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA PANELA GRANULADA OBTENIDAS POR DURAN (1995)

Cuadro D.5: Límite inferior, superior y promedio, en los diferentes parámetros analizados en las muestras de panelas de la Hoya del río Suárez, Santander

ANÁLISIS	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	VALOR PROMEDIO
Análisis Proximal (%)			
Humedad	5,77	10,18	7,48
Proteína	0,39	1,13	0,70
Nitrógeno	0,06	0,18	0,11
Grasa	0,13	0,15	0,14
Fibra	0,24	0,24	0,24
Azúc. Reductores	7,10	12,05	9,15
Sacarosa	75,72	84,48	80,91
Cenizas	0,61	1,36	1,04
Minerales (mg/100 g)			
Magnesio	28,00	61,00	44,92
Sodio	40,00	80,00	60,07
Potasio	59,00	366,00	164,93
Calcio	57,00	472,00	204,96
Manganeso	1,20	4,05	1,95
Fósforo	34,00	112,50	66,42
Zinc	1,30	3,35	2,44
Hierro	2,20	8,00	4,76
Flúor	5,30	6,00	5,65
Color % T (550 nm)	34,90	75,90	55,22
Turbiedad % T (620 nm)	32,79	71,78	52,28
pH	5,77	6,17	5,95
Peso (g)	378,00	498,00	434,86
Poder energético			
Calorías/100 g	322,00	377,00	351,00

Fuente: Durán, 1995 (Citado por Segura, 2003).

3.3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA PANELA GRANULADA OBTENIDAS POR Sandoval *et al.*, 2004

Cuadro D.6: Resultados de los análisis físico – químicos de siete muestras de las pruebas de elaboración de panela granulada

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6	ENSAYO 7
pH ajustado a	5,8	5,8	6,0	6,0	6,0	6,0	5,8
Temp. cocción °C	120	118	125	120	120	125	123
Humedad % prom.	1,7	1,3	1,55	1,8	1,19	1,7	1,57
Cenizas % promedio	0,62	0,59	0,67	0,75	0,68	0,84	0,89
Azúcares reductores % prom.	9,72	2,53	3,44	3,52	2,97	6,93	5,1
Color	Amarillo ocre	Amarillo ocre	Amarillo ocre	Amarillo tostado	Naranja mineral	Amarillo ocre	Amarillo ocre

Fuente: Sandoval *et al.*, (2004).

ANEXO E

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

Cuadro E.1: Características físico – químicas del jugo de caña de azúcar

	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
° Brix	19,08	20,67	19,86
pH	5,50	5,63	5,57
IM ¹	0,85	1,00	0,93

¹ Índice de Madurez (IM): Relación que existe entre la concentración de los azúcares de la parte terminal del tallo y la base del tallo.

ANEXO F

IMÁGENES ADJUNTAS

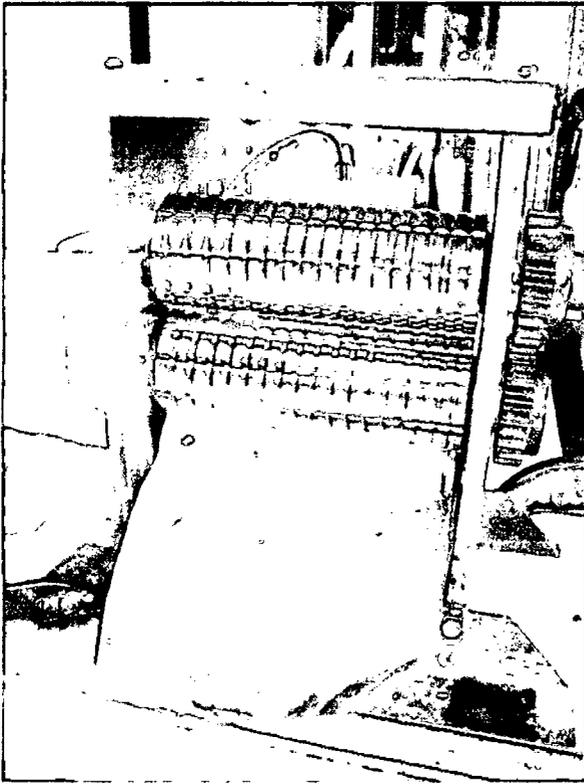


IMAGEN F.1:

Imagen de molino artesanal
manual de 2 masas.
(Vista Frontal).

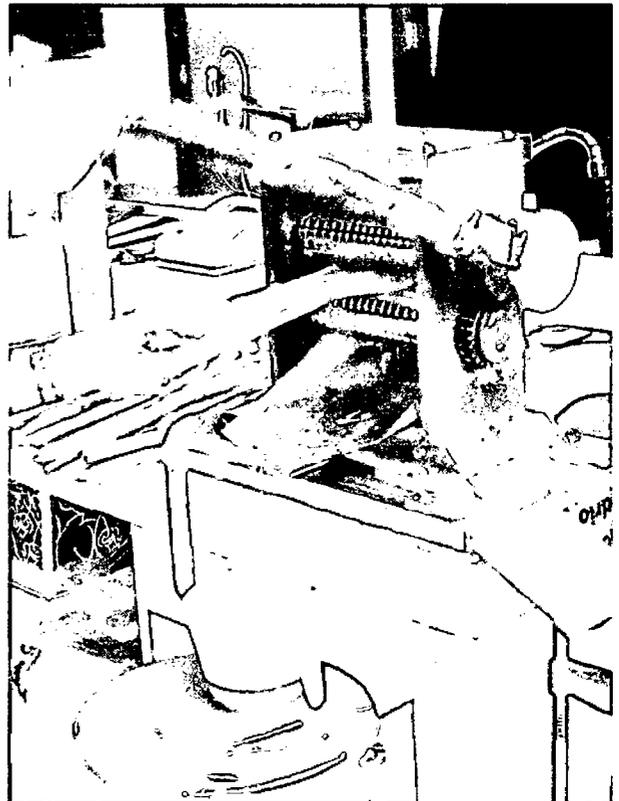


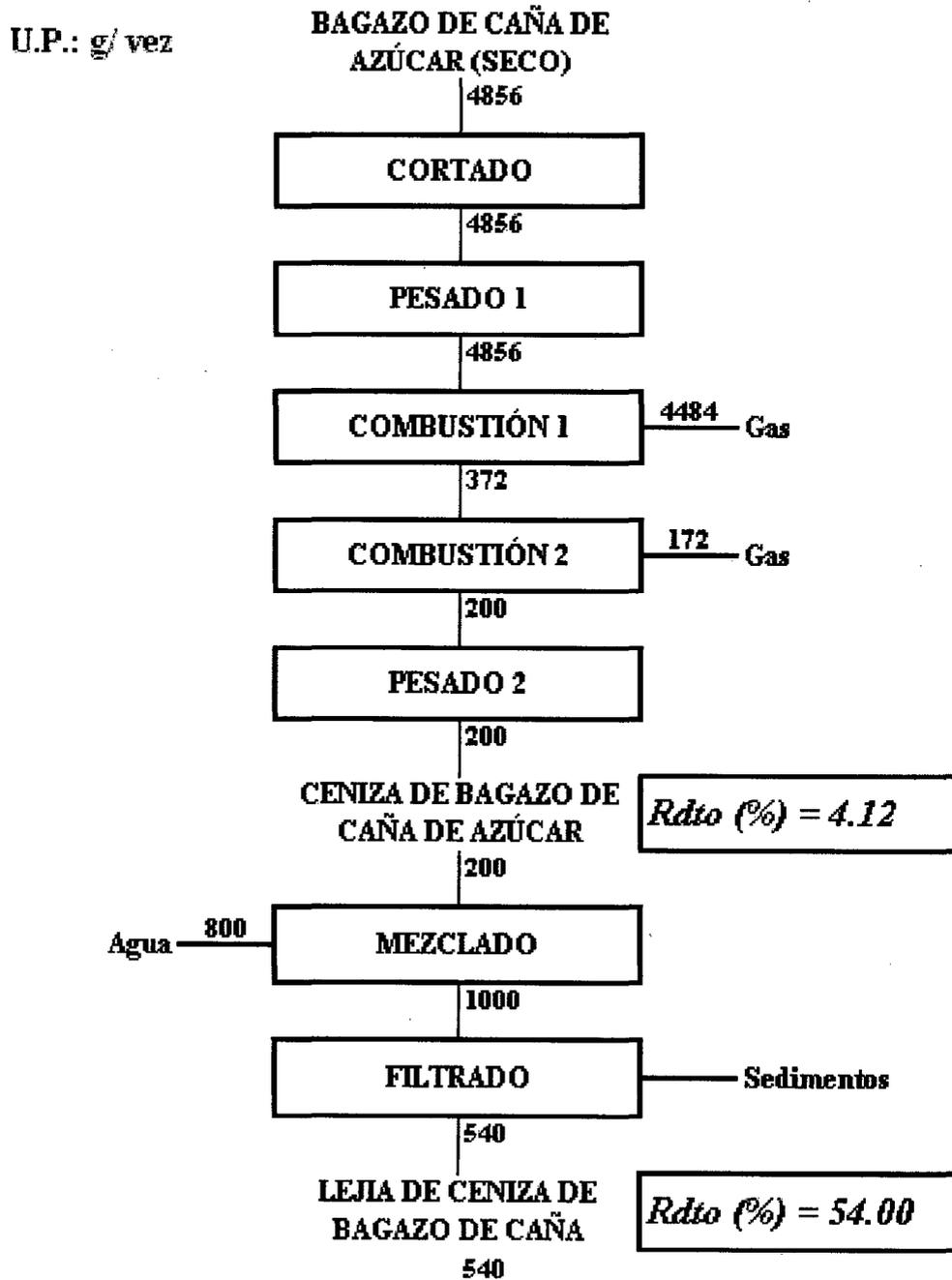
IMAGEN F.2:

Imagen de molino artesanal
manual de 2 masas.
(Vista en extracción de jugo).

ANEXO G

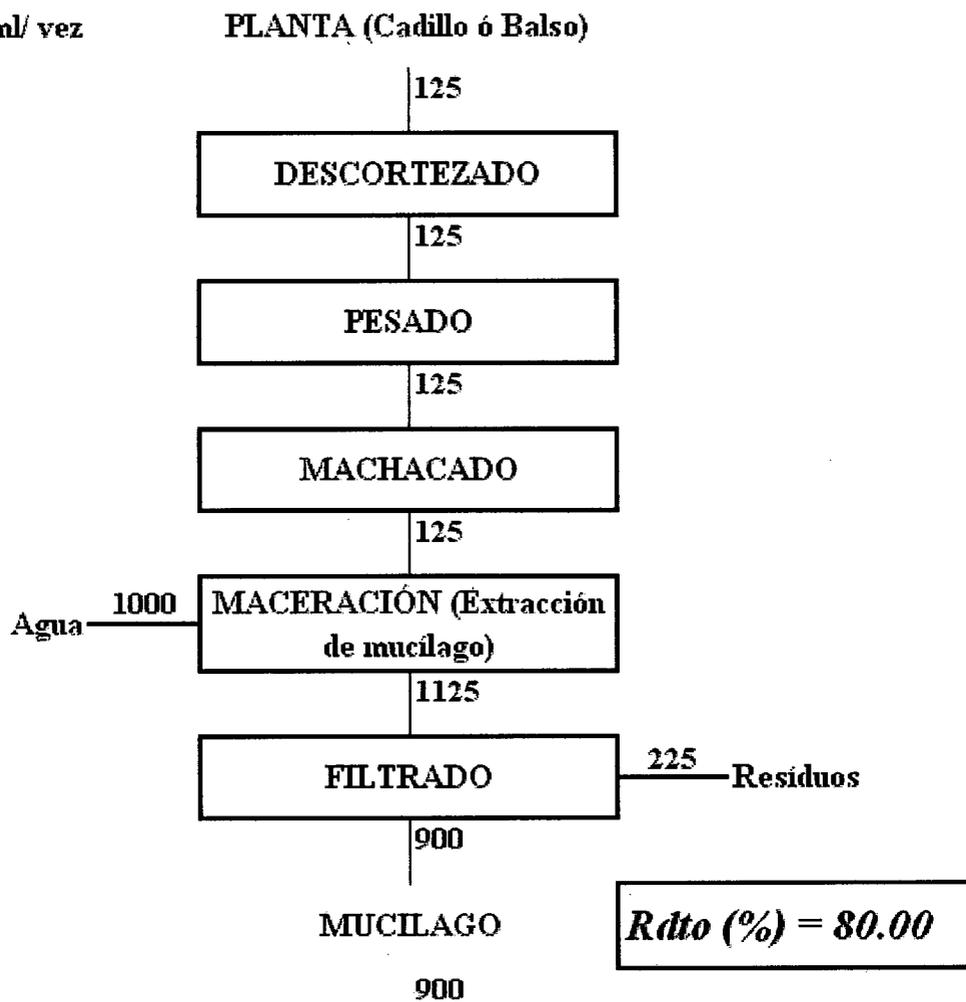
BALANCE DE MATERIA MEDIANTE DIAGRAMA DE BLOQUES

1. BALANCE DE MATERIA EN LA OBTENCIÓN DE LEJÍA DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA



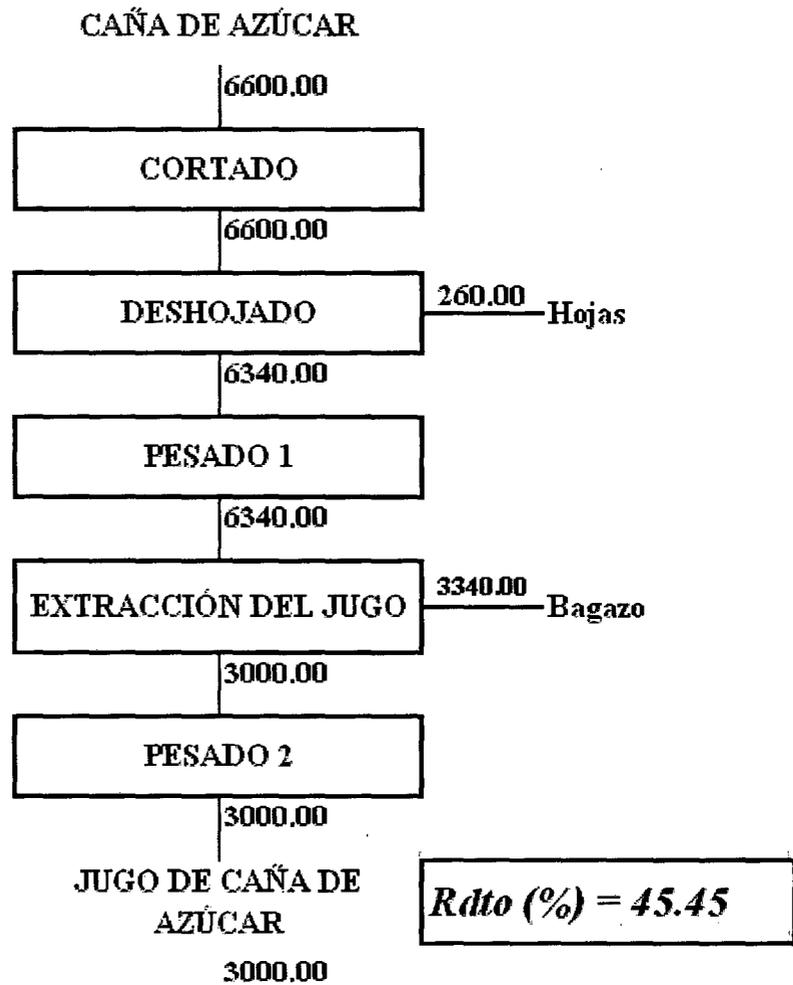
2. BALANCE DE MATERIA EN LA OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DEL AGLUTINANTE VEGETAL

U.P.: g - ml/ vez



3. BALANCE DE MATERIA EN LA EXTRACCIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

U.P.: g/ vez



4. BALANCE DE MATERIA EN LA OBTENCIÓN DE PANELA GRANULADA

