

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**OPTIMIZACIÓN DEL pH, AGLUTINANTE Y TEMPERATURA DE PUNTEO
PARA MINIMIZAR EL COLOR DE LA PANELA ORGÁNICA EN LA
PLANTA PROCESADORA DE VALERA-LA COCA, PROVINCIA DE
BONGARÁ, REGIÓN AMAZONAS-2010.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORES :

Br. EDILSON CULQUI CHECAN

Br. DIDIER ZUMAETA ROJAS

ASESOR: Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

COASESOR: Ing. JOSÉ DEL CARMEN OLIVA CRUZ

CHACHAPOYAS, PERÚ-2011.

Dedico este trabajo a Dios, que gracias a su poder y fe se logra todo.

A mis padres, mis hermanos (as) y a mi novia,

por su apoyo incondicional.

DIDIER ZUMAETA ROJAS

Dedico este trabajo a mis familiares y amigos que en todo momento de mi vida han estado compartiendo su tiempo y conocimiento.

EDILSON CULQUI CHECÁN

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, asesor de la presente Tesis, quien desde un primer momento, se involucró con el tema, brindándonos desinteresadamente los conocimientos y experiencia, que nos encaminó en el campo de la investigación.

Al Ing. José Del Carmen Oliva Cruz, encargado del Proyecto Caña en la Región Amazonas, Co-Asesor de la presente Tesis.

Al Dr. Wagner Guzmán Castillo, por sus consejos de cómo se debe guiar correctamente el tema de investigación, buscando sea útil a la comunidad a la que está enfocada.

Al M.Sc. Elías Torres Armas, especialista en diseño estadístico experimental, por su tiempo y conocimientos compartidos.

Al Presidente de la Asociación de Productores de Panela Granulada y a sus socios, del anexo La Coca, distrito de Valera, provincia de Bongará, en especial al socio Bladimir Sánchez Muñoz, por la facilidades dadas, así como también a la Sra. Paola Muñoz Campón, quien nos facilitó un espacio en su casa y algunos materiales para instalar el laboratorio temporal y realizar las corridas experimentales.

Al Jurado de Tesis conformado por la M.Sc. Elena Victoria Torres Mamani, Ing. Erick Aldo Auquiñivín Silva, M.Sc. Armstrong Barnard Fernández Jeri; quienes con su crítica acertada y oportuna nos permitieron realizar un trabajo de fácil manejo para los lectores.

Los autores

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

RECTOR

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

VICERRECTOR ACADÉMICO

M.Sc. ZOILA ROSA GUEVARA MUÑOZ

**DECANA (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
AGRARIAS**

VISTO BUENO DEL ASESOR Y COASESOR

El Profesor Principal a Dedicación Exclusiva de la Universidad Nacional “Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas” Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón y el Especialista del Proyecto Caña, ejecutado por el Gobierno Regional de Amazonas, Ing. José del Carmen Oliva Cruz, que suscribimos, hacemos constar que hemos asesorados la ejecución y elaboración de la Tesis titulada: *“Optimización del pH, Aglutinante y Temperatura de Punteo para Minimizar el Color de la Panela Orgánica en la Planta Procesadora de Valera-La Coca, provincia de Bongará, Región de Amazonas”*, de los tesisistas Didier Zumaeta Rojas y Edilson Culqui Checán, Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial egresados de la UNTRM.

El Asesor y el Coasesor de la presente Tesis, damos el Visto Bueno para que sea presentada al Jurado Evaluador y estamos dispuestos para orientar a los tesisistas en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la misma.

Chachapoyas, 31 de marzo del 2011.

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
Asesor

Ing. José del Carmen Oliva Cruz
Co-Asesor

JURADO DE TESIS

M.Sc. Elena Victoria Torres Mamani
Presidente

Ing. Erick Aldo Auquiñivin Silva
Secretario

M.Sc. Armstrong Barnard Fernandez Jeri
Vocal

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR Y COASESOR.....	v
JURADO DE TESIS.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. La panela.....	1
1.2. Producción de la panela.....	4
1.3. Contexto internacional de la panela.....	5
1.4. La panela en la Región Amazonas.....	7
1.5. Situación actual en el área de estudio.....	8
1.6. Temas relacionados a la investigación.....	9
1.7. Debilidades de la agroindustria panelera en la regional y mundial.....	10
1.8. Criterios de calidad de la panela.....	12
1.9. Normas que regulan la calidad de la panela.....	14
1.10. Factores que afectan la calidad de la panela.....	15
1.11. La caña panelera.....	17
1.11.1. Variedad de la caña.....	17
1.11.2. Madurez de la caña.....	18

	Pág.
1.11.3. El jugo de caña.....	19
1.12. Alcalinizado y clarificado.....	20
1.12.1. Regulación del pH.....	20
1.12.2. Coagulación.....	21
1.12.3. Floculación.....	21
1.13. Temperatura de punteo.....	22
1.14. Estudio del color.....	22
1.14.1. Comprensión del color.....	22
1.14.2. Cuantificación del color.....	22
II. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. Materia prima e insumos.....	24
2.1.1. Obtención de lejía de ceniza de bagazo de caña.....	24
2.1.2. Obtención de mucilago.....	25
2.1.3. Malva.....	25
2.1.4. Linaza.....	26
2.2. La panela y su proceso.....	26
2.2.1. Obtención de panela granulada.....	26
2.3. Análisis del Color.....	31
2.3.1. Computadora y calibración.....	31
2.3.2. Cámara fotográfica digital y calibración.....	31
2.4. Análisis fisicoquímico.....	33
2.5. Vida de anaquel.....	34

	Pág.
III. RESULTADOS.....	35
IV. DISCUSIÓN.....	50
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. RECOMENDACIONES.....	58
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
VIII. ANEXOS.....	66

TESIS DE GRADO UNTRM D & E

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Composición promedio de la panela.....	3
Tabla 2.Producción mundial y consumo de la panela.....	6
Tabla 3.Composición Media de la Caña de Azúcar.....	19
Tabla 4.Valor de las variables a experimental.....	26
Tabla 5.Distribución de los valores de las variables a experimentar.....	27
Tabla 6. Periodo de ejecución de las corridas experimentales.....	27
Tabla 7. Cuantificación promedio del color de la panela granulada.....	41
Tabla 8. Respuesta optimizada del color de la panela granulada.....	46
Tabla 9. Análisis fisicoquímico de una muestra de panela granulada.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de bloque para la obtención de lejía.....	24
Figura 2. Diagrama de bloques para la obtención de aglutinante vegetal de Malva.....	25
Figura 3. Diagrama de bloques para la obtención de aglutinante vegetal de Linaza.....	26
Figura 4. Diagrama de bloques para la obtención de panela granulada.....	28
Figura 5. Diagrama de bloques para la cuantificación del color de la panela.....	33
Figura 6. Secuencia para la obtención de mucílago de semilla de malva.....	37
Figura 7. Secuencia para la obtención de mucílago de semilla de linaza.....	38
Figura 8. Secuencia de trabajo para obtener panela granulada.....	39
Figura 9. Curva de calentamiento del jugo de caña de azúcar.....	42
Figura 10. Gráfico de Pareto estandarizado para Color.....	42
Figura 11. Efectos principales para el color.....	43
Figura 12. Efecto de la interacción para el Color, pH vs. Linaza.....	44
Figura 13. Efecto de la interacción para el Color, Linaza vs. TP.....	45
Figura 14. Efecto de la interacción pH vs. Temperatura de punteo.....	45
Figura 15. Superficie Respuesta: Malva vs. Linaza.....	47
Figura 16. Superficie Respuesta: pH vs. Temperatura de punteo.....	47
Figura 17. Variación de la humedad en vida de anaquel de la panela granulada obtenida en la investigación.....	49
Figura 18. Comportamiento del color en vida de anaquel de la panela granulada obtenida en la investigación.....	49

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Formato de registro de datos experimentales.....	67
Anexo 2. Métodos y procedimientos para el análisis físico químico.....	68
Anexo 3. Método de captura de imágenes digitales.....	71
Anexo 4. Localización de la investigación.....	72
Anexo 5. Croquis de ubicación de la planta procesadora de panela granulada.....	73
Anexo 6. Evaluación del color de la panela granulada.....	74
Anexo 7. Análisis de la varianza para color.....	75
Anexo 8. Balance de materia para la obtención de la panela granulada.....	76
Anexo 9. Color de la panela granulada.....	77
Anexo 10. Teoría del color.....	78

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Ubicación de los componentes para la captura de imagen.....	71
Fotografía 2. Escenario para tomar la imagen digital de la panela granulada.....	71
Fotografía 3. Panela obtenida en la Planta Procesadora de La Coca.....	77
Fotografía 4. Panela obtenida en la presente investigación.....	77

TESIS DE GRADO UNTRM D & E

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se tuvo por objetivo principal optimizar el nivel de pH (5,5 y 6,5); aglutinante a base de extracto acuoso de malva o de linaza (2 %, 4 %) y temperatura de punteo (120 °C, 126 °C) de la panela granulada. Para regular el pH se empleó lejía obtenida de la ceniza de bagazo de caña que se usa como combustible en el horno de la planta procesadora. La variable respuesta fue minimizar el color de la panela granulada. El valor cuantitativo del color se obtuvo aplicando el Software Photoshop SC3, utilizando como unidad de color el RGB (escala 0 al 255) promedio arrojado por el software, indicando que el valor representa: 0 = oscuro y 255 = claro. Para la digitalización del color de la panela se utilizó una cámara fotográfica digital. Con la aplicación del diseño estadístico 2^k no replicado se determinó que con un pH de 6,5; 4 % de aglutinante de linaza y una temperatura de punteo de 126 °C, se ha logrado minimizar el color de la panela granulada con un valor óptimo de 118,186 RGB. A la panela con mínimo color se le realizó una caracterización fisicoquímica obteniendo: humedad 2 %, cenizas 1,48 %, sólidos insolubles 0,47 %, azúcares reductores 0,78 g glucosa /100 g muestra, proteínas 1,41 % y grasa total 0,86 %; resultados que están acorde a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) y norma técnica colombiana NTC 1311 (1991) para panela.

Palabras clave: pH, aglutinante, temperatura de punteo.

ABSTRACT

The present research objective was to optimize the level of pH (5,5 and 6,5); binder aqueous extract of mallow or linseed (2 %, 4 %) and endpoint temperature (120 °C, 126 °C) granulated brown sugar. To regulate the pH was used lye obtained from sugar cane bagasse ash is used as fuel in the furnace of the mill. The response was to minimize the color of the granulated brown sugar. The quantitative value of color is obtained by applying the Software Photoshop SC3, using the RGB color unit (range 0 to 255) driven by software average, indicating that 0 = black and 255 = white. For scanning the color of brown sugar used a digital camera. With the application of statistical design replicated 2^k was determined with a pH of 6,5; 4 % linseed oil binder and an endpoint temperature of 126 °C, has managed to minimize the color of the granulated brown sugar with an optimal value 118,186 RGB. At least the color panel was performed physicochemical characterization obtained: 2 % moisture, ash 1.48 %, 0,47 % insoluble solids, reducing sugars 0,78 g glucose / 100 g sample; 1,41 % protein and fat total 0,86 %, results that are consistent with Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 2332 (2002) and Colombian Technical Standard NTC 1311 (1991) for sugarcane.

Keywords: pH, binding, endpoint temperature.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. La panela

La panela se define como un producto sólido obtenido de la evaporación de los jugos de la caña de azúcar hasta una humedad menor o igual al 3 %. La panela granulada o pulverizada se obtiene por batido y deshidratación de las mieles en el momento de alcanzar el punto de panela. Su presentación final es en forma de polvo o granos ligeramente esféricos, cuyos diámetros pueden variar desde casi 1 mm hasta terrones de 15 a 25 mm, que se pueden clasificar con cribas en diferentes tamaños y/o triturar los terrones más grandes hasta alcanzar el tamaño de grano requerido y que dependiendo de ello, se puede catalogar como de uso instantáneo por su facilidad de dilución (CORPOICA – FEDEPANELA, 2000).

La norma técnica colombiana NTC 1311 (1991) define a la panela como un producto sólido, natural, obtenido por evaporación del jugo de caña de azúcar previamente clarificado o purificado, elaborado en los establecimientos llamados trapiches o centrales paneleros.

Para Hernández y Amaya (2003) la panela es un producto obtenido de la concentración del jugo de caña de azúcar, mediante un proceso artesanal. Se caracteriza por una alta proporción de sacarosa, además posee glucosa y fructosa, dispone de un excelente contenido de minerales y se le reconoce la presencia de las vitaminas E y C.

Tiwari *et. al.* (2004) afirman que la panela es un producto tradicional elaborado por concentración del jugo de caña, con importantes cantidades de calcio,

fósforo y hierro; con propiedades medicinales muy útiles. Kumar y Tiwari (2005) agregan que es un azúcar integral, no refinado, sin aditivos químicos. La panela recibe diversas denominaciones; “gur” y “jaggery” en la India y Pakistán, “raspadura” en Brasil, “chancaca” en Chile y Argentina; “panela” en Colombia, Ecuador, Guatemala y otros países de Centroamérica, y “panela” o “piloncillo” en México. En Perú tradicionalmente se le llama “chancaca”. La FAO la registra en sus estadísticas como azúcar no centrifugado.

Este producto se comercializa bajo distintas presentaciones, en bloque, en panelines y granulada o pulverizada. La panela en bloque a su vez se presenta en diferentes formas, dependiendo del molde utilizado en su elaboración, así se tiene panela cuadrada, rectangular, redonda, en forma de pastilla con cresta redonda y con cresta cuadrada, entre otras. La panela granulada o en polvo es aquella que por procesos de deshidratación y/o de molienda se obtiene en forma granulada o de polvo (NTC 1311, 1991).

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) define la panela granulada como “el producto obtenido por concentración de los jugos de caña de azúcar, hasta la obtención de un jarabe espeso permitiendo a continuación que el jarabe se solidifique y granule por batido”. Prada (1997) destaca principalmente las propiedades físicas de la panela granulada, y la define como un sólido granulado producto de la concentración de los jugos de la caña de azúcar, soluble en agua, con diferentes tonos de amarillo, pardo o pardo oscuro, con sabor y olor característicos y con tamaño de partícula hasta 2,5 mm.

La panela es un ingrediente importante en bebidas refrescantes, bebidas calientes, salsa para carnes y repostería, conservas de frutas y verduras.

También se emplea para tortas, bizcochos, galletas, postres y mermeladas. Además, es un excelente cicatrizante, produce un acción bactericida contribuyendo al restablecimiento de los tejidos (Wikipedia, Panela, 2009).

Tabla 1. Composición promedio de la panela 100 g.

Componente	Contenido
Sólidos solubles	94 - 97 ° Brix
Sacarosa	83 – 89 %
Azúcares reductor	0,5 %
Proteínas (N x 6,25)	2,5 – 12 %
Humedad	3,0 %
Sólidos sedimentables	0,1 – 1 %
Cenizas	0,8 – 1,9 %
Nitrógeno	0,12 %
Grasa	0,90 %
Magnesio	50 – 90 mg
Fósforo	50 – 65 mg
Sodio	2 – 7 mg
Potasio	150 – 230 mg
Calcio	80 – 150 mg

Fuente: Corporación Colombiana, 2004.

Es el producto natural de mayor aporte nutricional, la gran cantidad de minerales que brinda al organismo la convierte en el principal generador de equilibrio de las sales que necesita el cuerpo humano.

Por su contenido vitamínico y mineral mejora la visión nocturna, participa en el crecimiento y restaura la calidad de la piel, nutre y protege el sistema nervioso, previene los calambres musculares, aumenta la resistencia ante el estrés y las infecciones, previene la anemia, participa en la asimilación de

calcio por parte de los huesos, en la formación del sistema óseo, refuerza el sistema inmunológico, regula el azúcar en la sangre, es antialérgico y ayuda en la asimilación de azúcares (Wikipedia, edulcorante, 2008).

De manera general, para producir panela se prensa la caña, por medio de un trapiche de 2 o 3 masas, accionado por fuerza animal o motor diesel, para extraer su jugo; enseguida se realiza la evaporación-concentración de los jugos sobre una hornilla; este proceso lleva a que los jugos se espesen de tal manera que una vez batidos y enfriados, en unos moldes, el producto se vuelva compacto y sólido o sea, panela. Su origen se remonta a la llegada de los españoles, que introdujeron variedades de caña y esclavos negros, quienes la transmitieron por casi todo el continente (zonas tropicales) (Raymond, 1997).

1.2. Producción de panela

Cabe destacar que la fabricación mundial de panela se concentra principalmente en Asia y Sudamérica, siendo los mayores productores la India (6,89 millones de Tm) y Colombia (1,50 millones de Tm). En lo que respecta al consumo per cápita, el mayor lo tuvo Colombia con 19,7 kg/año, seguido por Myanmar con 11,3 kg/año. Brasil y Guatemala fueron los otros países latinoamericanos más destacados, con una producción de 350 y 45 mil Tm, respectivamente.

Siendo la India el mayor productor, también para este país la agroindustria panelera tiene una gran importancia socioeconómica. Cerca del 40 % de la caña cosechada anualmente (236,18 millones de Tm para el año 2004, según datos de la FAO) se destina a la producción de panela, y alrededor de 2,5

millones de personas dependen económicamente en forma directa e indirecta de esta actividad (Kumar y Tiwari, 2005).

En la Región Amazonas, la producción de panela se puede considerar como una actividad tradicional y que se une al arraigo de cada localidad, simbolizando en muchos casos la destreza, habilidad y participación de la comunidad, brindando la oportunidad de desarrollar lazos de amistad, confianza y solidaridad entre cada participante dentro del proceso (Proyecto caña, 2009).

La situación económica de pobreza que afecta a muchas comunidades de la región, les impide adquirir productos de primera necesidad como lo es el azúcar refinada, por tal motivo, la panela granulada o pulverizada se torna importante para la alimentación y economía de la población de bajos ingresos económicos (Proyecto caña, 2009).

En tal sentido, algunas políticas de estado, como también organizaciones privadas, formadas especialmente para este tipo de agroindustrias, en las últimas décadas han realizado proyectos de investigación, como también programas de transferencias de tecnología.

1.3. Contexto internacional de la panela

A nivel mundial, se reporta producción de panela en 25 países y se estima que está cercana a los 13 millones de toneladas anuales. Los principales productores son la India, que produce el 55 % y Colombia el 11 % (FAO, 2002). En América Latina y el Caribe se estima la existencia de alrededor de 50000 pequeñas factorías productoras de panela, las cuales involucran en

conjunto, más de un millón de personas. De acuerdo con la FAO, la producción de panela en la región se acerca a 2 millones de toneladas, que representan cerca del 15,5 % de la producción mundial. En el continente se produce panela en Colombia, Brasil, Guatemala, México, Perú, Haití, Venezuela, Ecuador, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Bolivia y Argentina (Rodríguez, 2006).

Tabla 2. Producción mundial y consumo de panela.

Posición	País	Producción (miles de toneladas)	Participación en el total (%)	Consumo (kg/persona/año)
1	India	7600	62,3	9,28
2	Colombia	1137	9,2	36,43
3	Pakistán	1040	8,5	9,29
4	Bangladesh	620	5,0	5,64
5	Tailandia	600	4,8	10,72
6	China	500	4,0	0,45
7	Brasil	240	1,9	1,63
8	Malasia	150	1,2	8,62
9	Haití	78	0,6	14,10
10	México	58	0,5	0,69
	Otros países	373	3,0	
	Total	12404	100,0	

Fuente: FAO, 1992.

La FAO identificó la agroindustria de la panela en Colombia como un caso representativo en América Latina, para valorar la diversificación de empleo y de ingresos a nivel de pequeños productores campesinos (FAO - CORPOICA, 2004). En este país, la producción de panela la realizan cerca de 70 mil

pequeños productores rurales en 20 mil factorías comúnmente denominada "trapiches". Además, Colombia es el primer consumidor mundial de panela en términos per cápita, con un promedio de 32 kg por habitante al año (Rodríguez, 2006).

1.4. La panela en la Región Amazonas

Desde el año 2007, se introdujo en las Provincias de Bagua, Bongará, Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba la tecnología para la producción del cultivo de la caña de azúcar y la elaboración de panela orgánica, mediante el Proyecto “Fortalecimiento de Capacidades Productivas Agropecuarias” (FOCAP), ejecutado por la Dirección Regional Agraria Amazonas (Proyecto Caña, 2009).

El año 2008 mediante el Proyecto denominado “Producción de Caña de Azúcar y Desarrollo de la Industria Panelera en las Provincias de Bagua, Bongará y Rodríguez de Mendoza”, se continuó mejorando y validando la tecnología, tomando como referencia la tecnología del Centro de Investigación y Mejoramiento de la Panela Orgánica (CIMPA) de Colombia (Proyecto Caña, 2009).

El Gobierno Regional de Amazonas, a través de este proyecto contribuye al bienestar de la población dedicada al cultivo de la caña, mediante la generación y transferencia de tecnologías, para hacer más eficiente y rentable la producción de panela, con criterios de competitividad, equidad, sostenibilidad y desarrollo tecnológico (Proyecto Caña, 2009).

Uno de los ejes principales de producción de un gran número de agricultores de nuestra región, es el cultivo de caña de azúcar para la elaboración de panela granulada y/o chancaca, por ser una de las fuentes de ingresos más importantes para el productor; además de ello, presenta alto valor nutricional, aporta subproductos para la alimentación animal y a su vez es generador de empleo. Su importancia dentro de la economía campesina de la zona es destacable, aunque se ha llegado a establecer que el rendimiento es bajo.

La situación negativa está influenciada por: prácticas inadecuadas del manejo del cultivo, deficiente tecnología para la producción de panela, mal manejo de las diversas etapas en el proceso de elaboración de la panela, falta de capacitación y financiamiento. Todo lo anterior se traduce en bajos rendimientos, baja calidad y deficiente presentación del producto para el mercado (Proyecto Caña, 2009).

1.5. Situación actual en el área de estudio

La provincia de Bongará cuenta con un sector de la población que se dedica a las labores agrícolas y agroindustriales, como es el caso de la elaboración de productos a partir de la caña de azúcar.

La localidad de La Coca, ubicada a 1710 m.s.n.m., anexo del distrito de Valera, cercana al anexo de Cocachimba (1,5 km) (Anexo 4 y 5). Tiene un promedio de 20 familias, dedicadas a actividades agrícolas, destacando productos como el café variedad nacional, tomate, maíz, frejoles; pecuarias y agroindustriales, dentro de las más importantes se hallan la elaboración de chancaca y aguardiente y últimamente gracias a la construcción de una planta procesadora, la producción de panela granulada. Según los estudios realizados por el

proyecto caña (2009) la productividad de la caña panelera alcanza los 65 a 70 Tm/ha, dos campañas al año, volumen que permite asegurar la demanda regional. La caña se considera como la materia prima indispensable para obtener un producto final con características organolépticas deseadas y presentación comercial adecuada, garantizando la preferencia por el consumidor en el mercado de los edulcorantes naturales, posicionamiento que hace posible ser competitivo y generador de puestos de trabajo permanentes en el tiempo.

El productor rural manifiesta que la panela granulada producida en la planta difería entre cada Bach de producción en color, característica física importante ante la mirada del potencial comprador, esto generaba una producción no homogénea, donde los comuneros no podían encontrar la explicación de la variación que existía en la panela obtenida.

Es aquí donde se encontró el punto de partida de la presente investigación, la cual se buscó optimizar los parámetros de pH, clarificación y temperatura de punteo, que permitió la estandarización del proceso y obtención de un producto de calidad homogénea, generando confianza en el productor de sacar su producto al mercado local y/o nacional.

1.6. Temas relacionados a la investigación

Investigadores evaluaron los factores de limpieza de la caña, variedad de caña, así como también temperatura de punteo, tomando como variables respuesta humedad, azúcares reductores, sólidos solubles totales, color (L^* , a^* y b^*) y sólidos insolubles. Concluyeron que para obtener un producto de calidad uniforme es necesario controlar variables como la caña y la temperatura de

punteo. Recomiendan realizar estudios de nivel de pH del jugo, pues consideran que tiene una estrecha relación con el contenido de sólidos insolubles y el porcentaje de cachaza blanca removida (Mujica y col., 2008).

Prada (2004), considera como variables las condiciones agroecológicas y el manejo agronómico, aspecto este último en el que se enfatizó el índice de madurez y la variedad, determinando el mejor método de limpieza en los sistemas de producción (uso de pre-limpiadores y decantadores), recomienda el uso de aglutinantes vegetales, tales como el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cadillo (*Triumpheta lappula*) y balso (*Heliocarpus popayanenses* HBK), incluyendo un método de obtención del mucílago, para mejorar su eficiencia al momento de la floculación de la cachaza. El cadillo destaca como agente vegetal clarificante con un 46 % de efectividad, recomienda tener en cuenta la curva de calentamiento en valores de 1,0 a 1,2 °C/min.

Yoplac (2008), trabajó el efecto de alcalinizado con lejía de ceniza de bagazo de caña y los aglutinantes vegetales de balso y cadillo, con un tipo de variedad de caña de la provincia de Rodríguez de Mendoza de la Región Amazonas, el mejor resultado lo obtiene a un pH de 6,0 y considera variables respuesta la determinación de proteínas, sacarosa, grasa, °Brix y pureza.

1.7. Debilidades de la agroindustria panelera regional y mundial

La fabricación de panela a nivel mundial representa una agroindustria rural tradicional, y artesanal en la mayoría de los casos. Se caracteriza por una producción poco organizada y que utiliza métodos rudimentarios, en la cual no se controlan las condiciones de proceso, ni menos aún las características del producto terminado.

Sólo en pocas zonas de los países productores, principalmente en Colombia, se introducen algunos elementos de la tecnología básica necesaria (Barona. A, 2002).

Desde la India, que es el principal productor, hasta países con una producción minoritaria, poseen debilidades semejantes en su agroindustria panelera.

En tal sentido, Pawar y Dongare (2001) afirman que a pesar de la importancia socioeconómica que tiene esta actividad en la India, su principal limitación es la carencia de estandarización en el proceso. A tal punto que en el método de fabricación, una persona experta juega un rol decisivo en la clarificación del jugo y en la confirmación del punto de panela.

Esta realidad no está alejada de los países latinoamericanos, Prada (1997) y García (2003) concuerdan en que las principales debilidades de la actividad panelera en Colombia, radican en la variable calidad del producto (por lo general deficiente) por falta de control en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, uso de sustancias nocivas a la salud como sulfitos (agentes blanqueadores) y colorantes artificiales para enmascarar su color, peso por unidad de producto muy variable, deficiencias en la presentación, transporte y almacenamiento; poca capacitación técnica de los productores, fluctuación en los precios del producto, falta de un gremio panelero fuerte, y carencia de un plan de higiene apropiado. Adicionalmente, para Velásquez y col. (2005) las hornillas de las centrales paneleras presentan una baja eficiencia energética.

Por otra parte, Almengor y col. (1998) caracterizaron la agroindustria panelera de Guatemala y encontraron un bajo nivel tecnológico, baja extracción en la molienda, bajo rendimiento en la producción de panela, falta de pre-limpieza y

clarificación de los jugos, ineficiencia energética de las hornillas, producto de calidad heterogénea y problemas en su almacenamiento.

Con respecto al Perú, las limitaciones de la actividad panelera son muy similares a las ya mencionadas para el resto de los países, entre ellas se tiene la falta de higiene en el proceso, producto de calidad no uniforme, poco conocimiento de las bondades nutricionales y medicinales de la panela, períodos de apronte extremadamente largos, mal ajuste del molino y en muchos casos no existe concordancia entre su capacidad y la de la hornilla, sistema deficiente para la clarificación de los jugos, baja eficiencia energética y fallas en el diseño de la hornilla, ausencia de empaques apropiados, presentaciones del producto poco atractivas para el uso, variaciones en peso por unidad de producto y escasa organización de los productores.

1.8. Criterios de calidad de la panela

La aceptación de la panela por los consumidores depende en gran medida de sus atributos sensoriales (color, textura, apariencia y sabor), los cuales para efecto de las investigaciones y de las normativas son traducidos en parámetros de calidad sustitutos determinados analíticamente, tales como color, contenido de humedad, azúcares reductores, sacarosa, cenizas, pH, y sólidos insolubles o materia extraña (Patil *et. al.*, 1994; Patil y Adsule, 1998).

Tiwari y Chatterjee (1998) reportaron que altos contenidos de sacarosa y bajos contenidos de azúcares reductores, humedad, cenizas y color, fueron asociados con una mejor calidad de panela.

Para Mungare *et. al.* (2000) el color de la panela es el parámetro más importante, y es tomado en cuenta para la clasificación del producto en el

mercado. En tal sentido, Patil *et. al.* (1994) afirman que el color tiene una influencia relevante en la obtención de un buen precio en el mercado de la panela, siendo el amarillo dorado (claro) el preferido por los consumidores.

Por otra parte, el interés en el contenido de humedad de la panela y más aún en su actividad de agua, radica en que a elevados valores, se favorece la inversión de los azúcares y el crecimiento de mohos, resultando en la formación de productos complejos de descomposición y cambios desfavorables en las características sensoriales (Tiwari *et. al.*, 2004). Se ha reportado que el contenido de humedad para almacenamiento de la panela debe estar preferiblemente por debajo de 3 % y nunca por encima de 5 % (Kumar y Tiwari, 2005).

La sacarosa también juega un papel determinante como parámetro de calidad, y mientras mayor es su porcentaje mejor se mantiene la panela durante el almacenamiento (Patil y Adsule, 1998). En cuanto a los azúcares reductores, estos le aportan un sabor característico a la panela, sin embargo los altos contenidos son indeseables debido a que incrementan su higroscopicidad, lo que afecta adversamente la textura y la estabilidad en el almacenamiento.

El contenido de cenizas no es de los parámetros más utilizados para evaluar la calidad de la panela; sin embargo, un elevado valor puede estar asociado a un exceso de cal en la clarificación, o al uso de cal con un elevado nivel de impurezas.

Con respecto al pH, su relevancia se basa en que al igual que el contenido de cenizas, puede resultar un indicador del exceso de cal. Además, un bajo valor de pH puede relacionarse con un elevado contenido de azúcares reductores.

Las normas técnicas ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) y colombiana NTC 1311 (1991) especifican los valores para los parámetros físicos y químicos de importancia en la panela, y clasifican el producto principalmente en base al contenido de sólidos insolubles. Para la panela granulada, la norma técnica ecuatoriana combina el criterio de los sólidos insolubles con la granulometría para su clasificación.

1.9. Normas que regulan la calidad de la panela

Son muy pocos los países que poseen una norma que regule la actividad de los centrales paneleros y la calidad del producto, lo cual es necesario, basado en las debilidades ya mencionadas, principalmente en la alta variabilidad de las propiedades físicas, químicas y sensoriales del producto final. Unido a que en algunos países se han presentado casos de adulteración con azúcar, y enmascaramiento de las malas prácticas de manufactura con el uso de preservantes y colorantes.

En la India existe una norma para la clasificación y mercadeo de la panela (Agmark, 1943), en la cual se clasifica en los grados extra especial, especial, AI, AII y B, basado en su color y textura, ambos atributos evaluados sensorialmente. Además establece algunas características generales como por ejemplo que el producto no debe poseer sabor ácido, salado u otro objetable, y que no debe presentar signos de cristalización de la sacarosa ni de mohos en su superficie.

En Colombia existe la norma técnica NTC 1311 (1991) denominada “Productos Agrícolas. Panela”, aplicada a todas las presentaciones de panela en general, y la cual regula el color (medido por transmitancia a 550 nm), los

azúcares reductores, el contenido de sacarosa, proteína y cenizas. Adicionalmente dictamina que el producto no debe poseer sulfitos, ni colorantes, y establece un límite máximo para el contenido de plomo y arsénico. Esta norma clasifica la panela en extra, primera y segunda, de acuerdo al contenido de sólidos insolubles y el número máximo de defectos en 100 g de muestra.

Por su parte, Ecuador posee una norma específica para panela granulada, la NTE INEN 2 332 (2002), que fija rangos para el color (medido por transmitancia a 550 nm), contenido de azúcares reductores, sacarosa y humedad, y límites mínimos para el contenido de proteínas y el pH. Además clasifica el producto de acuerdo al porcentaje de sólidos insolubles y la granulometría, y dispone que debe estar exento de compuestos azufrados y de cualquier otra sustancia blanqueadora, de colorantes artificiales y de ciertos plaguicidas.

1.10. Factores que afectan la calidad de la panela

Los factores que influyen en los atributos sensoriales y en los parámetros físicos y químicos de la panela pueden clasificarse en dos grandes grupos, los agroecológicos y los asociados al procesamiento o beneficio de la caña. Los primeros afectan la composición de la caña y por ende la de la panela, entre ellos se tienen la variedad e índice de madurez de la caña, tipo de suelo, clima, fertilizantes, manejo del cultivo y método de cosecha (Patil *et. al.*, 1994).

Entre los factores asociados al procesamiento se tienen el tiempo de apronte, las condiciones de almacenamiento de la caña, la extracción en la molienda, el método de clarificación, la cantidad de cal agregada, la pureza de la cal, el tipo

y la dosis del polímero floculante, la velocidad de calentamiento, la temperatura de punteo, el método de batido y las condiciones de almacenaje. Jadhav *et. al.* (2001) resaltan que el factor más importante y dominante en la disminución del azúcar recuperable es el almacenamiento de la caña, debido al largo tiempo que transcurre entre la cosecha y la molienda. Adicionalmente, señalan que el cambio físico más relevante en la caña cosechada es la pérdida de peso, debido a la transpiración, y el cambio químico es la pérdida de sacarosa por inversión.

En cuanto a la importancia de la etapa de clarificación, Prada (2002) afirma que una adecuada clarificación de los jugos de caña influye radicalmente en la calidad de la panela que se obtiene, y entre los factores de importancia nombra la pre-limpieza (fase física de la clarificación) de los jugos, la aplicación de aglutinante, y la velocidad de calentamiento durante la clarificación, para esta última recomienda que sea superior a 1,5 °C por minuto para facilitar la formación de la cachaza y disminuir la inversión de la sacarosa por tiempos de proceso prolongados. Jadhav *et. al.* (2002) coinciden con Prada (2002) en lo que respecta a la importancia de esta etapa.

Por otra parte, Pawar y Dongare (2003) indican que el pH y la temperatura de punteo juegan un rol importante en el proceso, afectando significativamente la calidad de la panela. Además afirman que el pH de encalado varía entre 5,9 y 7,0 y; recomiendan una temperatura de punteo de 118 °C para panela en bloque.

Con respecto a las condiciones de almacenaje, se tiene que las altas temperaturas y humedades relativas promueven la inversión de la sacarosa, lo

que conduce al incremento de la higroscopicidad; y al crecimiento de mohos, causando su deterioro (Verma y Maharaj, 1990). Estas condiciones deben ser tales que la panela no pierda ni gane humedad.

1.11. La caña panelera

1.11.1. Variedad de la caña

La variedad de la caña es un factor predominante en la calidad de la panela, se ha establecido la siembra de variedades de caña panelera existentes, debido a que éstas ya tienen un fenotipo y genotipo adaptado a la zona, dentro de las variedades adaptadas encontramos la variedad CH-32 (conocida como amarilla costeña), POJ; Azul Casa Blanca (Proyecto Caña, 2009).

Las variedades indicadas anteriormente se ajustan a las condiciones edafológicas, agrotécnicas y climáticas de la zona seleccionada; además, son las que mejores resultados de adaptabilidad y rendimiento de panela han mostrado en el ámbito indicado (Proyecto Caña, 2007).

La caña es una gramínea del género *Saccharum*, su reproducción es agámica y sus raíces muy ramificadas. Su forma es recta con tallos cilíndricos de 2 a 5 metros de altura, diámetro variable de 2 a 4 cm y nudos pronunciados sobre los cuales se insertan alternadamente las hojas delgadas (CORPOICA-FEDEPANELA, 2000).

Consta de una parte exterior formada por la corteza, comúnmente cubierta de una capa de cera de grosor variable que contiene el material colorante, una porción interna constituida por el parénquima y paquetes fibrovasculares dispuestos longitudinalmente, terminando en hojas o

yemas. Su crecimiento y desarrollo dependen de ciertos factores como luminosidad, temperatura, precipitación de lluvias, vientos y variedades (DRAA, 2009).

1.11.2. Madurez de la caña

El momento de cosecha de la caña, debe establecerse cuando se alcance el punto de máximo rendimiento, y éste debe coincidir con el punto de madurez (García, 2004).

La mayoría de los productores establecen que el punto de madurez de la caña está en relación con el color de los tallos, la reducción de la longitud de los entrenudos y el tamaño de las hojas.

La madurez de la caña se logra cuando la concentración de los azúcares es igual o semejante en la base y en la parte terminal del tallo (Sandoval y Valverde. 1996).

Para determinar el cálculo del índice de madurez, la concentración de sólidos solubles (°Brix) se mide con un refractómetro en el séptimo entrenudo, contando de arriba hacia abajo; de la misma forma se mide la concentración de sólidos solubles, de varios tallos, en el segundo o tercer entrenudo, a partir del suelo. Luego se divide el resultado obtenido en la parte superior de la caña por el valor obtenido en la base.

El índice de madurez de la caña se define con el refractómetro de la siguiente forma: caña inmadura, menor de 0,95; madura, entre 0,95 a 1 y sobremadura, mayor de 1 (Proyecto Caña, 2009).

1.11.3. El jugo de caña

Está compuesto esencialmente por agua y una parte sólida rica en fibra y en sólidos solubles. Entre los sólidos solubles de la caña sobresalen los azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa.

La hidrólisis o rompimiento de la molécula de sacarosa a glucosa (dextrosa) y fructosa (levulosa) se conoce como inversión de la sacarosa (Mosquera y *col.*, 2007).

Este fenómeno se inicia en la misma planta, pero se acelera después del corte por efectos de la temperatura ambiente y del pH. La sacarosa es estable en medio alcalino, mientras que los azúcares reductores lo son en medio ácidos.

Tabla 3. Composición media de la caña de azúcar.

Componente	Contenido (%)
Agua	65 – 75
Azúcares	11 – 18
Fibras	08 – 14
Sólidos solubles	12 – 23

Fuente: Carrera, 2004.

La sacarosa se sintetiza en las hojas y se acumula en el tallo de la caña y su contenido aumenta con el tiempo, hasta alcanzar su óptimo de madurez, momento en el cual se inicia la inversión. Esta madurez en sacarosa es alcanzada por cada variedad a una edad diferente (Carrera, 2004).

1.12. Alcalinizado y clarificado

1.12.1. Regulación del pH

Consiste en adicionar un agente alcalinizante directamente al jugo de caña, una primera forma de hacerlo es en dos partes iguales, la primera cuando el jugo alcanza una temperatura de 40 °C y la segunda a los 80 °C (Mujica y *col.*, 2008). La segunda forma que se emplea es la adición de todo el alcalinizante de una sola vez, esto se da cuando el jugo de caña alcanza una temperatura de 80 °C (Yoplac, 2008).

La finalidad de regular el pH es mejorar la etapa de clarificado, ayudando a la floculación de la cachaza, facilitando la separación de la cachaza con ayuda de los descachadores, del jugo de caña en pleno proceso de evaporación. Los parámetros encontrados para el pH en el cual se debe encontrar el jugo de caña se considera entre 5,2 y 5,4 (Mujica y *col.*, 2008) lo cual se debe regular a un pH de 6 a 7 con la finalidad de mejorar la clarificación del jugo y disminuir la inversión de la sacarosa (Mosquera y *col.*, 2007). Evitando la formación de cristales a causa de los azúcares reductores, garantizando la calidad de la panela obtenida.

Los trabajos realizados por Mosquera y *col.* (2007), en base a los estudios realizados recomiendan valores de pH entre 4,9 y 5,6 y Sandoval y Valverde (1996) los mejores resultados en la investigación que realizaron lo obtuvieron a valores menores a 5,8. Es importante mencionar que la eficiencia térmica se cuenta dentro del conjunto de factores que influyen en la calidad de la panela (CIMPA, 2007), que están en función al diseño del horno y los recipientes o pailas.

1.12.2. La coagulación

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico orgánico llamado coagulante, el cual neutraliza sus cargas electrostáticas y hace que las partículas tiendan a unirse entre sí (Wikipedia. Coloide, 2008).

1.12.3. La floculación

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores (Wikipedia. Coloide, 2008).

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso se suele hablar de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan el retiro de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales. En la presente investigación se usó aglutinantes vegetales, como agentes floculantes.

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte el

pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes (Wikipedia. Líquido en suspensión, 2008).

1.13. La temperatura de punteo

La temperatura de punteo es el punto en el cual se debe detener el calentamiento e iniciar la etapa de batido. Existen divergencias acerca de la temperatura de punteo ideal, ya que Rivero y Torres (2000) indican que debe encontrarse entre 130 y 133°C, mientras que Espinosa (1997) y Barona. R (2002) afirman que debe estar entre 124 y 126°C.

Estas discrepancias se deben posiblemente a que la temperatura de ebullición, y por lo tanto la de punteo, dependen de la altura sobre el nivel del mar del sitio donde se elabore la panela (Mujica y *col.*, 2008); siendo indispensable realizar investigación de este parámetro *in situ*.

1.14. Estudio del color

1.14.1. Comprensión del color

Si se conoce como se crean los colores y como se relacionan entre ellos, se puede lograr una mayor eficacia al analizar imágenes, y lograr resultados consistentes gracias a la comprensión de la teoría de colores (Photoshop CS3, 2007).

1.14.2. Cuantificación del color

Existen modos de color que permiten la cuantificación del color, dentro de los cuales tenemos al modo de color RGB, CMYK, lab (a*, b*), escala de grises, mapa de bits, etc. (Photoshop SC3, 2007). En el presente trabajo de investigación se utilizó como “unidad de medida” los RGB (modelo de color

estándar) que asigna un valor de intensidad a cada pixel. En imágenes de 8 bits por canal, los valores de intensidad varían de 0 (oscuro) a 255 (claro) para cada uno de los componentes RGB (rojo, verde, azul) de una imagen de color. Por ejemplo, un color rojo brillante podría tener un valor R de 246, un valor G de 20 y un valor B de 50. Si los valores de los tres componentes son idénticos, se obtiene un tono de gris neutro. Si los valores de todos los componentes es 255, el resultado es blanco puro, y negro puro si el valor es de 0 (Photoshop SC3, 2007). En el presente trabajo se consideró los siguientes objetivos:

- ✓ Optimizar el nivel de pH, Aglutinante y Temperatura de Punteo para minimizar el color de la panela orgánica.
- ✓ Identificar el aglutinante vegetal que facilite la floculación de la cachaza, Bagacillo e impurezas.
- ✓ Realizar la caracterización fisicoquímica del mejor producto seleccionado, que permitirá observar sus bondades nutricionales

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materia prima e insumos

En la presente investigación se utilizó como materia prima tallos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la variedad CH-32 (costeña amarilla), del distrito de Valera, anexo La Coca, provincia de Bongará, Región Amazonas, que se cosechó en las parcelas de los productores de panela granulada, dicha materia prima posee características homogéneas como el diámetro del tallo y la altura, índice de madurez; asimismo, se empleará ceniza de bagazo de caña, extracción acuosa de tallo y hojas de malva y extracción acuosa de semilla de linaza.

2.1.1. Obtención de lejía de ceniza de bagazo de caña

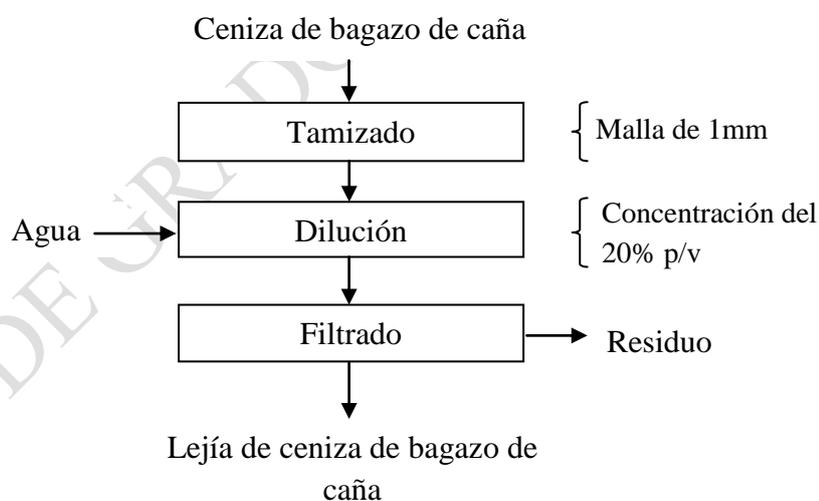


Figura 1: Diagrama de bloques para la obtención de lejía de bagazo de caña.

El bagazo de caña con el contenido de humedad apropiado, se emplea como combustible en el horno de combustión de la planta panelera, el subproducto que queda es la ceniza, que se tamiza a malla de 1 mm y se recoge en costales para su almacenamiento en lugar propicio para su posterior uso agrícola como

mejorador de suelos, o como insumo para extraer lejía o alcalinizante (regulador de pH) para la obtención de panela. Para obtener la lejía, se mezcló la ceniza con agua en la proporción de 1 a 3 en un balde de plástico. Esta mezcla se filtró en un saco pequeño de tela fina, el filtrado fue marrón claro transparente con olor característico a lejía. Su valor de lectura en el pH metro fue de 11,79.

2.1.2. Obtención del mucílago

Los mucilagos vegetales son sustancias babosas extraídas de la corteza, hojas de algunas plantas, así como también de semillas. Para el uso en el proceso de elaboración de la panela granulada se recomienda tener listo un día antes.

2.1.3. Malva

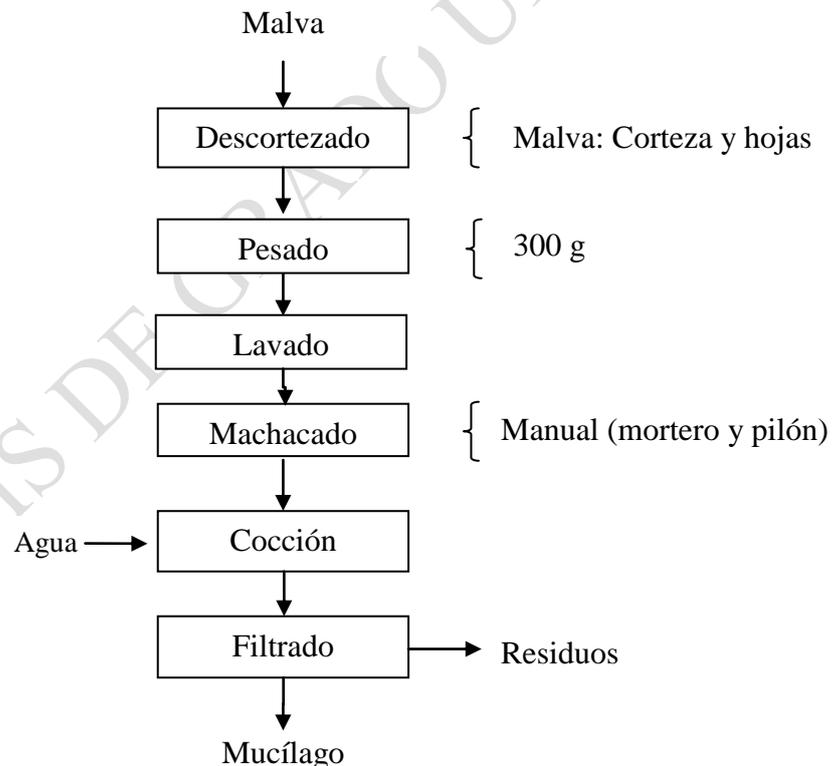


Figura 2: Diagrama de bloques para la obtención de mucílago vegetal de malva.

La obtención debe realizarse teniendo presente las buenas prácticas de manufactura (BPM) y, mantener en condiciones adecuadas y evitar sorpresas, ya que es un sustrato propicio para muchos microorganismos que podrían deteriorarlo.

2.1.4. Linaza

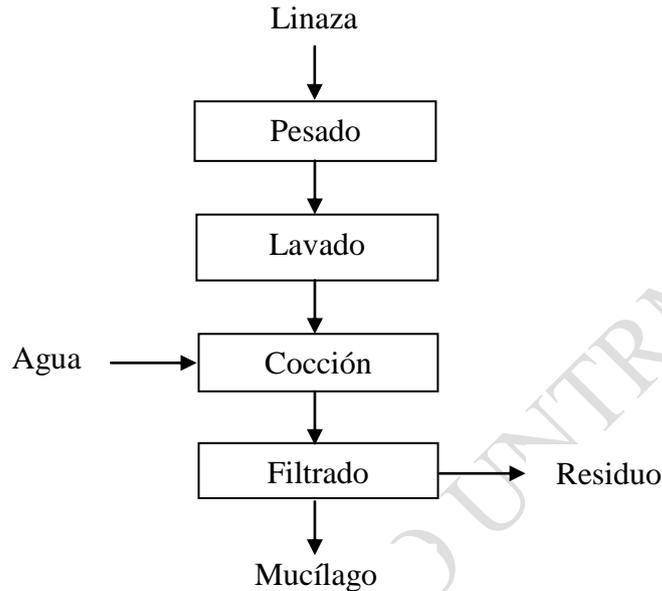


Figura 3: Diagrama de bloques para la obtención de mucílago vegetal de linaza.

2.2. La panela y su proceso

2.2.1. Obtención de panela granulada

Las corridas experimentales fueron 16, en base al diseño experimental de superficie de respuesta 2^k no replicado (Tabla 4).

Tabla 4. Valor de las variables a experimentar.

Variables	Niveles	
	Inferior	Superior
A: pH	5,5	6,5
B: % Malva	2	4
C: % Linaza	2	4
D: Temperatura de Punteo (TP) °C	120	126

Fuente: Elaboración Propia.

Y_i : Resultado en función a la variable respuesta

+: Valor superior

-: Valor inferior

Tabla 5. Distribución de los valores de las variables a experimentar.

N° de corrida experimental	Tratamientos				Y_i
	pH	Malva (%)	Linaza (%)	TP (°C)	
1	-	-	-	-	
2	+	-	-	-	
3	-	+	-	-	
4	+	+	-	-	
5	-	-	+	-	
6	+	-	+	-	
7	-	+	+	-	
8	+	+	+	-	
9	-	-	-	+	
10	+	-	-	+	
11	-	+	-	+	
12	+	+	-	+	
13	-	-	+	+	
14	+	-	+	+	
15	-	+	+	+	
16	+	+	+	+	

Fuente: Torres, 2010.

Tabla 6: Periodo de ejecución de las corridas experimentales.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
T ₁₂	T ₈	T ₆	T ₄
T ₁₄	T ₁₆	T ₉	T ₁₀
T ₃	T ₁₃	T ₂	T ₁
T ₅	T ₇	T ₁₅	T ₁₁

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ T = tratamiento.
- ✓ Subíndice indica el número de la corrida experimental (distribución aleatoria).

La obtención de la panela granulada se realizó siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 4.

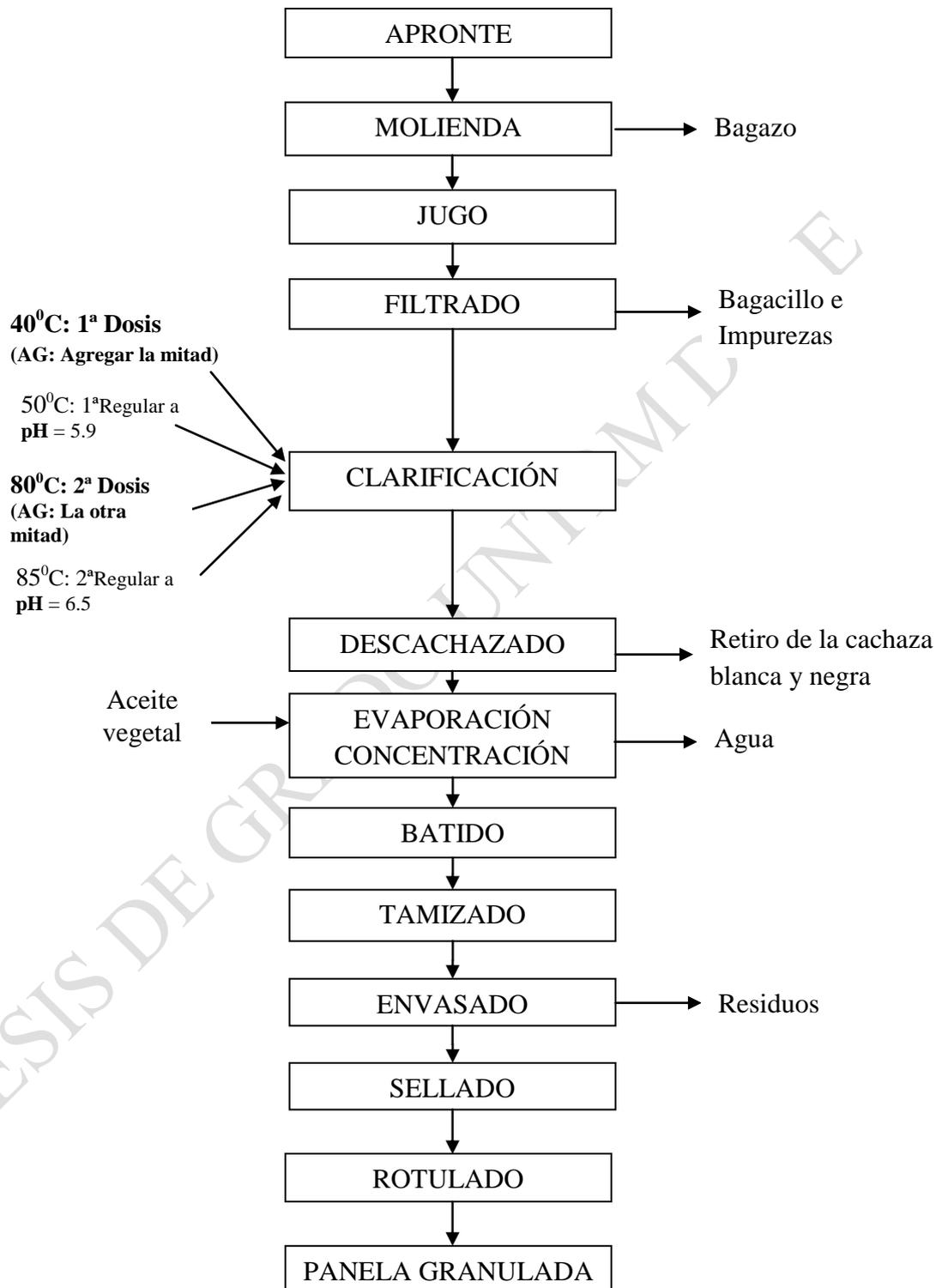


Figura 4. Diagrama de bloques para la obtención de panela granulada

Las actividades a realizarse en cada etapa del proceso se describen a continuación:

Molienda y extracción del jugo

La caña se somete a compresión en los rodillos o mazas del molino que generalmente son tres, lo cual propicia la salida del jugo de los tallos.

Clarificación y alcalinizado

Esta etapa se dividió en dos momentos:

Momento 1: Se adicionó la lejía preparada para regular el pH (alcalinizado del jugo), de acuerdo al diseño experimental en estudio: primer regulado a los 40 °C y regulado definitivo a los 80 °C.

Momento 2: Se agregó el aglutinante vegetal, de acuerdo a las corridas experimentales en estudio, se aplicó en dos partes iguales: primera parte a los 50 °C; la segunda parte a los 85 °C.

Descachazado

En esta fase se retiró los sólidos en suspensión, las sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes presentes en los jugos, con ayuda de un colador metálico, este proceso se llevó a cabo cercano a la temperatura de ebullición.

Cachaza blanca

Es la capa inicial de impurezas.

Cachaza negra

Es la segunda capa que se forma.

Evaporación y concentración

La evaporación del agua se realizó manteniendo calor constante hasta que el jugo de la caña se convirtió en miel (la operación de concentración se inicia aproximadamente a partir de los 98 a 100 °C). Cuando la miel alcanzó la temperatura de punteo en estudio (120 ó 126 °C), se retiró de la fuente de calor y se trasvasó a otro recipiente.

Batido y enfriado

Con ayuda de una paleta se agitó la miel por un minuto, se dejó reposar por tres minutos para incrementar el volumen en contacto con el aire, luego se siguió batiendo hasta lograr una granulación total.

Tamizado

Se realizó manualmente en mallas de acero inoxidable de 2 mm de diámetro con la finalidad de homogenizar la granulometría de la panela.

Envasado

El envasado fue manual en bolsas de polietileno de 1 kg, sellado en caliente (sellador eléctrico), aislando al producto del medio externo.

Rotulado

Permitió identificar el tratamiento, fecha, y peso de cada muestra. Facilitó el registro y toma de datos para el análisis.

En el Anexo 8 se presenta el balance de materia de la panela granulada, para conocer su rendimiento.

2.3. Análisis del color

Se empleó una cámara fotográfica digital y un computador de escritorio, calibrados. Se utilizó el software Adobe Photoshop CS3, que es utilizado para la edición y retoque de imágenes (Anexo 10).

2.3.1. Computadora y calibración

Se utilizó una computadora de escritorio con procesador Intel(R) Pentium(R) D CPU 3,00 GHz, con tarjeta madre Familia Intel (R) 946GZ Express Chipset y tarjeta gráfica integrada, memoria RAM de 1.00 GB y sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional, monitor Samsung LCD a color SyncMaster 732Nplus de 17 pulgadas con 2000:1 Dynamic Contrast, MagicSpeed 5 ms (Sistema PC).

Para la calibración del monitor, se tomó en cuenta que la luz ambiental fuese inferior a la de intensidad del monitor y sin incidencia directa sobre el mismo. Asimismo, con el software Photoshop CS3, se creó un archivo nuevo (formato JPEG) de 10x10 píxeles con resolución de 72 píxeles/pulgada, color con coordenadas R=128, G=128 y B=128 (gris) que se estableció como fondo de escritorio con posición en mosaico para evitar influencia de otros colores durante la calibración. El monitor fue calibrado paso por paso utilizando el software Adobe Gamma, definiendo punto blanco del hardware en 6500 °K (Anexo 11).

2.3.2. Cámara fotográfica digital y calibración

Para la captación de imágenes se utilizó una cámara fotográfica digital marca Samsung (ISO 3200), modelo ST70, con un sensor de imagen tipo: 1/2,3 pulgadas (aproximadamente 7,76 mm). Píxeles reales:

aproximadamente 14,2 megapíxeles. Píxeles totales 14,48 megapíxeles, aporta tamaños de imágenes de hasta 14 megapíxeles efectivos y dispone de enfoque automático TTL (Multif, Af central, Estabilización AF). Velocidad de obturador: auto inteligente de 1/8 a 1/2000 s, temperatura de funcionamiento entre 0 y 40 °C (Manual Samsung).

La cámara se colocó en modo de imagen normal, flash desactivado, enfoque en modo normal y tamaño de imagen 5,0 megapíxeles. Para el ajuste manual de balance de blancos, se calibró mediante hoja de papel bond (CHAMEX office ultra blanco, 75g/m²) en un escenario iluminado con un reflector de barra horizontal, marca Philips, 120V, 60Hz, 9w y temperatura de color TC = 6400 °K. El reflector se hizo incidir sobre la hoja a distancia de 10 cm y la cámara a distancia de 50 cm. La geometría de las direcciones de iluminación/observación fue de 45°/0°.

Para la sensibilidad ISO, se tomaron fotografías de 2,0 megapíxeles, por triplicado, en el escenario a una distancia de 50 cm a muestras patrones de color de la guía de colores PANTONE solidmatte (Cyan, Magenta, Yellow y Black –Pantone Process M). Se varió la sensibilidad ISO a 80, 100, 200, 400, 800 y 1000. Se observaron en el visor de imágenes de Windows. La sensibilidad a la luz no ofreció gran variación y se seleccionó el valor ISO 80 por presentar menor ruido en las imágenes.

Para determinar el mejor valor de exposición (EV), se tomaron fotografías, por triplicado, a las mismas muestras patrones, en las mismas condiciones señaladas. En Photoshop CS3, se les ajustaron los niveles de entrada y salida, se recortó cada imagen de color patrón de manera

independiente, se promediaron los píxeles, se tomaron muestras del color que reflejaron las coordenadas RGB en la paleta de colores del software y se seleccionó el EV = $\pm \frac{2}{3}$ por presentar las imágenes, las coordenadas RGB más similares a los valores RGB de los estándares Cyan, Magenta y Yellow (Pantone Process M) de la biblioteca PANTONE solidmatte, incluida en el software Photoshop CS3 (Padrón. 2009).

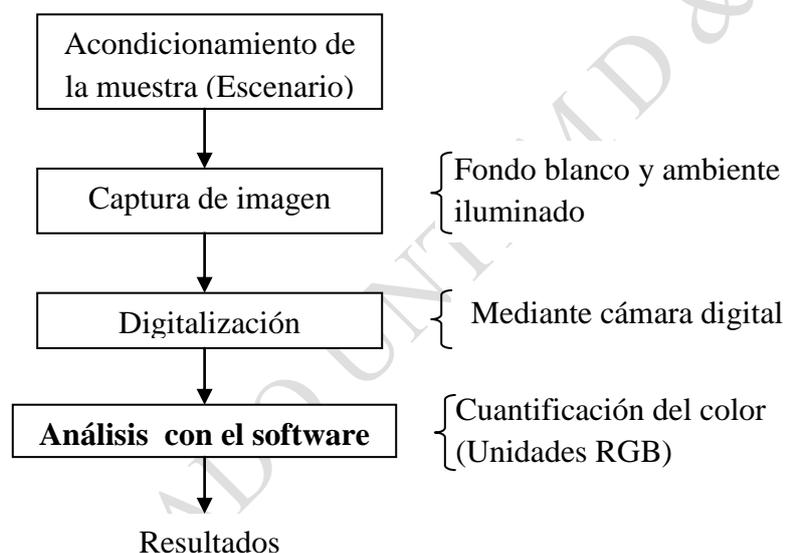


Figura 5. Diagrama de bloques para la cuantificación del color de la panela.

2.4. Análisis fisicoquímico

Se evaluó porcentaje de humedad, ceniza, sólidos insolubles, azúcares reductores, proteínas y grasa total, del mejor tratamiento; con la finalidad de comparar y establecer semejanzas y diferencias con respecto a las normas técnicas. Esta evaluación se realizó en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, Región La Libertad.

2.5. Vida de anaquel

El tratamiento consistió en preparar una muestra de panela granulada en las condiciones especificadas para un producto que será puesto en el mercado. Las condiciones del experimento se consideraron para el caso de un consumidor que no cuenta con equipos domésticos de conservación.

Se evaluó el comportamiento del color y la variación de la humedad como variables respuestas en función del tiempo de almacenamiento. Se consideró un periodo de quince (15) días, la lectura de humedad y el cuantificación del color se realizó cada tres días como se indica: t (día) = 0, 3, 6, 9, 12 y 15.

III. RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta la secuencia de actividades realizadas con los respectivos resultados obtenidos. Se inicia con la descripción del proceso de obtención del aglutinante vegetal (Figura 6 y 7), seguido del proceso de obtención de la panela granula (Figura 8) y la captura o digitalización de imágenes (Tabla 7), la curva de calentamiento (Figura 9) que consiste en la lectura cada dos minutos de la temperatura del jugo de caña. A partir de la Figura 10 hasta la Figura 16 se realiza el análisis estadístico (Software Statgraphics Plus 5.1). Los resultados de la evaluación fisicoquímica del mejor tratamiento (Tabla 9) y finalmente en las Figuras 17 y 18 se encuentran las variaciones de humedad y color en vida de anaquel de la panela granulada obtenida en la investigación.

La Figura 6, muestra la secuencia de trabajo seguida para la obtención del mucílago de malva, para lo que se empleó 300 g de tallo y hojas de malva fresca, los que se machacaron y se colocaron en una olla a la que se agregó agua hasta cubrir la malva, luego se calentó a 50 °C por 15 minutos. El mucílago obtenido tuvo las siguientes características: color verde claro, olor desagradable y rendimiento de 82,22 %.

En la Figura 7, se aprecia la secuencia de trabajo para extraer el mucílago de semillas de linaza, para lo que se empleó 30 g de semillas, las que después de lavadas con agua corriente, se colocaron en una olla con un litro de agua y se calentó hasta ebullición por 25 minutos. Se dejó en reposo una hora y

enseguida se filtró. El mucílago tuvo las siguientes características: color blanquecino, viscoso, olor agradable y rendimiento de 95,60 %.

El índice de madurez promedio de la caña de azúcar estuvo en una relación de $0,98 \pm 0,05$ (El índice de madurez viene dado por la división de los SST del séptimo entrenado entre los SST del tercer entrenado, para cada tallo, y se reportó el promedio de los tallos) (Apartado I.11.2). Para la variedad CH-32 (costeña amarilla). Para ello, al cosechar la caña se seleccionaron aleatoriamente los tallos, y se cortaron desde la base, eliminándoles las hojas y el cogollo. Una vez en el laboratorio "temporal", con una prensa artesanal se extrajo el jugo del séptimo entrenado de cada tallo, contado desde el extremo superior contando desde la última hoja superior, y se determinó su contenido de sólidos solubles totales (SST) con un refractómetro portátil. También se extrajo el jugo del tercer entrenado, contado desde la base o extremo inferior, contado desde el suelo, e igualmente se le determinó el contenido de SST.



Figura 6. Secuencia para la obtención de mucílago de la planta de malva.

Linaza



Pesado

Lavado



Cocción



Filtrado



Figura 7. Secuencia para la obtención de mucílago de semilla de linaza.



Figura 8. Secuencia de trabajo para obtener panela granulada.

En la Figura 8, se observa las etapas del proceso para la obtención de la panela granulada que se realiza en la planta de La Coca, donde se procesa la caña de la zona que tiene una producción promedio de 35 toneladas métricas/hectárea, el jugo se extrae con un trapiche de tres masas (modelo R-4 Colombiano) accionado por un motor diesel que puede moler 1090 kg/hora, capaz de extraer jugo de caña que equivale al 60 % del peso de la caña. Por cada batch de producción de panela se emplean 84 latas de jugo de caña, siendo el rendimiento promedio de 5 kg de panela por lata (20 L).

La unidad experimental para el presente trabajo de investigación fue de 3 L de jugo de caña, del que se obtuvo en promedio de 385,65 g de panela granulada, lo que equivale a un rendimiento de 12,86 %.

Para la toma de la fotografía o captura de la imagen digital, se consideró un escenario iluminado debido a las variaciones de iluminación natural del sol, lo que nos permitió captar imágenes con fidelidad.

La cuantificación del color se realizó con el software Photoshop SC3 y el modelo de color RGB (R: red (rojo), G: green (verde), B: blue (azul)) que permite la descripción numérica de los colores, con el que se procesó la fotografía digital de la muestra de panela granulada en las condiciones siguientes: escenario iluminado con un reflector que se hizo incidir sobre la muestra a una distancia de 13 cm y la cámara a una distancia de 20 cm de la muestra. La geometría de las direcciones de iluminación/observación fue de 45°/0°.

Los valores RGB: 0= oscuro, 255= claro y los valores intermedios son la adición de los colores rojo, verde y azul. El rango de coloración que obtuvo la

panela en el presente trabajo de investigación en RGB fue de 91,84 a 118,89, correspondientes a los tratamientos 5 y 14.

Tabla 7. Cuantificación promedio del color de la panela granulada.

N° DE CORRIDA EXPERIMENTAL	TRATAMIENTOS				Color (RGB)
	pH	Malva (%)	Linaza (%)	TP(°C)	
1	5.5	2	2	120	95,7
2	6.5	2	2	120	107,2
3	5.5	4	2	120	96,84
4	6.5	4	2	120	98,48
5	5.5	2	4	120	91,84
6	6.5	2	4	120	116,33
7	5.5	4	4	120	93,53
8	6.5	4	4	120	101,6
9	5.5	2	2	126	94,36
10	6.5	2	2	126	101,36
11	5.5	4	2	126	104,67
12	6.5	4	2	126	98,86
13	5.5	2	4	126	108,13
14	6.5	2	4	126	118,89
15	5.5	4	4	126	101,41
16	6.5	4	4	126	100,95

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se muestran las curvas de calentamiento registradas durante la elaboración de la panela. Constan de una fase inicial ascendente en la cual aumenta la temperatura a una velocidad aproximadamente constante, luego le sigue la fase de ebullición en la cual la temperatura tiene una ligera variación (98,7 - 99,8 °C), propia de las soluciones, finalmente aumenta hasta alcanzar la temperatura de punteo (TP). Los datos se registraron siguiendo el formato del Anexo 1.

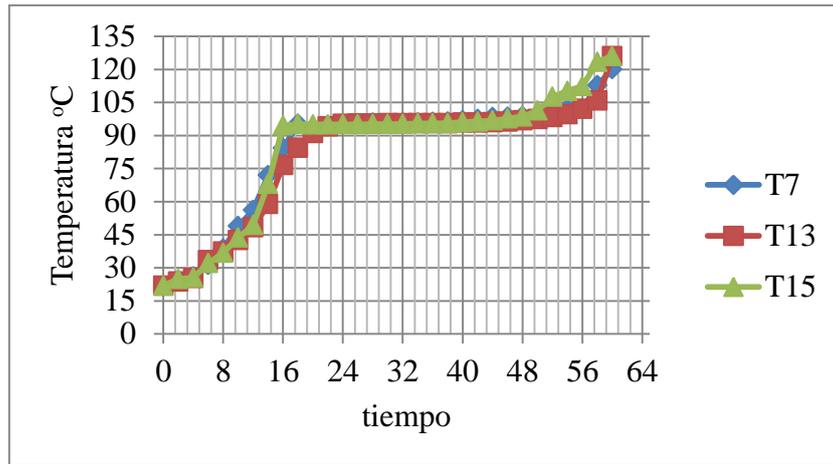


Figura 9. Curva de calentamiento del jugo de caña de azúcar.

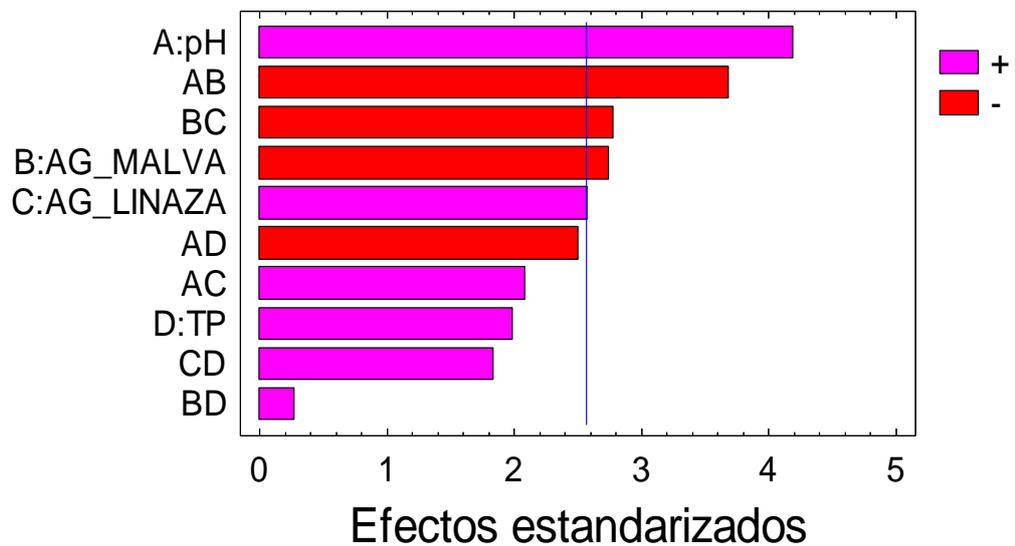


Figura 10. Gráfico de Pareto estandarizado para color.

El gráfico de Pareto estandarizado, mostrado en la Figura 10 es una representación gráfica del análisis de varianza donde igualmente se observan los factores más influyentes, en su respectivo orden, sobre el proceso de elaboración de panela granulada. Los efectos de color rojo (-) son inversamente proporcionales a la variable respuesta (color), mientras que los de color morado (+) son efectos directamente proporcionales a la variable respuesta. El diagrama incluye una línea vertical cuya ubicación depende del intervalo de

confianza determinado (95 % para el caso de estudio). Todo efecto que sobrepase la línea será de considerable significancia para el proceso. Del diagrama se observa claramente que los factores más influyentes sobre el proceso son pH y aglutinante de linaza (AG_Linaza). Esto indica que un cambio en el pH tendrá un efecto más relevante que cualquier cambio de otra variable, por lo cual el pH es la de mayor importancia en el control del proceso. Las otras interacciones son fuentes insignificantes de variación para el proceso.

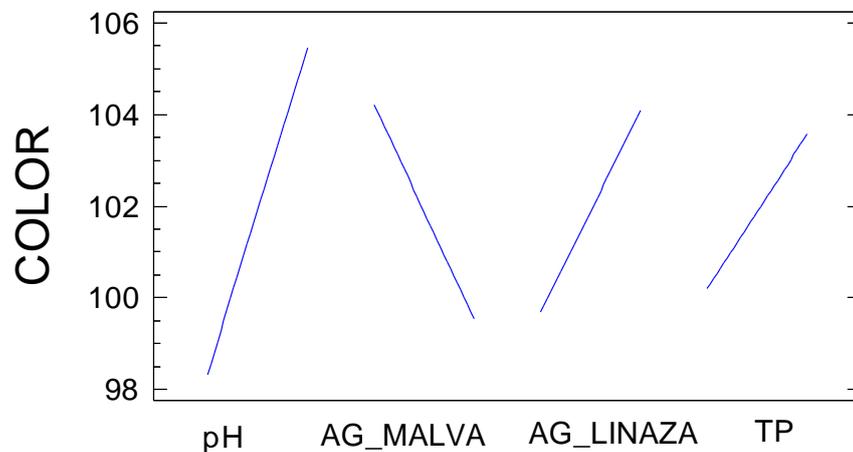


Figura 11. Efectos principales para el color.

El efecto particular de cada una de las variables de entrada sobre la variable respuesta puede observarse con mayor claridad en la Figura 11. Las representaciones de los efectos del pH, el aglutinante y la temperatura de punteo presentan pendientes que explican la gran significancia de estos efectos para el proceso y la sensibilidad de la variable respuesta a estos factores, fenómeno que ya se observaba en el diagrama de Pareto estandarizado. El efecto de la relación del aglutinante de malva (AG_Malva), presenta una línea con una pendiente negativa, por lo cual es una de las variables de menor importancia para el proceso. La variable que presenta mayor pendiente es el

pH; esto indica que un pequeño cambio en el valor representa un gran aumento o disminución en la obtención de la panela granulada.

En las Figuras siguientes se ilustra por separado los efectos de las posibles interacciones entre las variables de entrada. El efecto de una variable sobre el color de la panela granulada dependerá a su vez, de los valores que tomen las otras variables del proceso.

La interacción más relevante para el proceso es pH vs. Aglutinante vegetal de linaza. En concentraciones con un mínimo de aglutinante (2 % de aglutinante) el efecto sobre la variable respuesta al variar el pH es insignificante; mientras que a concentraciones mayores o iguales al 4 % de aglutinante vegetal, un cambio en el pH muestra una diferencia considerable en la cantidad de color (Figura 12).

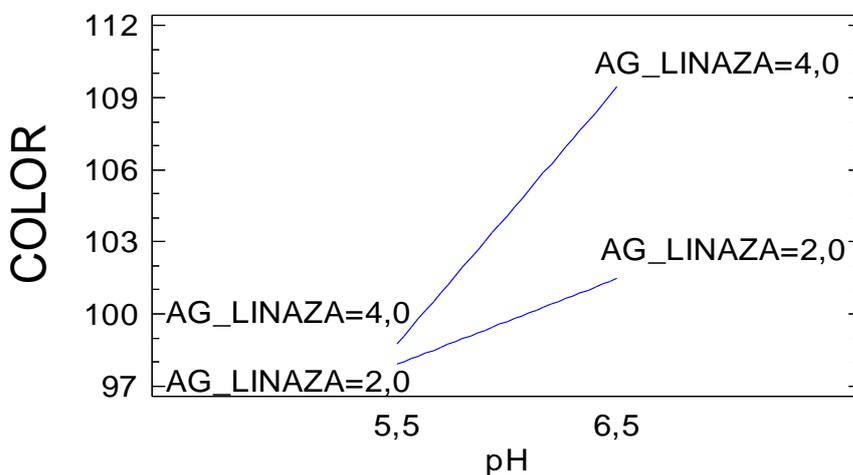


Figura 12. Efecto de la interacción para el Color, pH vs. Linaza.

La otra interacción importante para el proceso es el factor integrado por pH y linaza vs. Temperatura de punteo. La Figura 13 indica que cuando se realiza en una concentración de 2 %, no afecta el comportamiento de la variable respuesta; al contrario, cuando el valor de concentración es de 4 % el color

mejora considerablemente al variar el valor de pH de forma directamente proporcional al color.

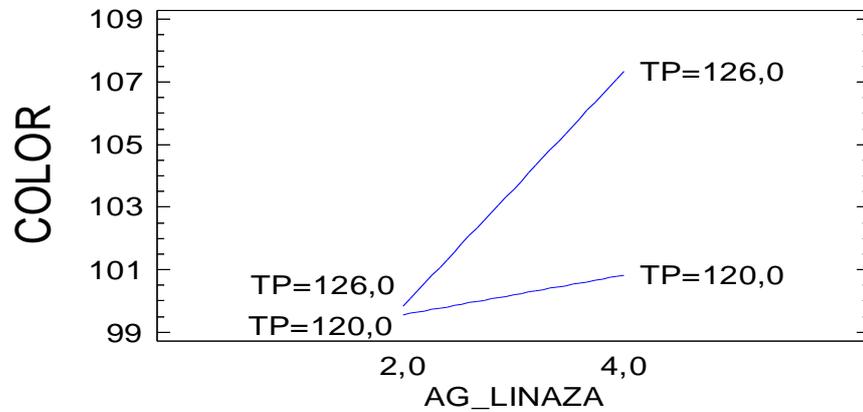


Figura 13: Efecto de la interacción para el Color, Linaza vs. TP.

La interacción pH vs. Temperatura de punteo es representativa para el proceso. En el Figura 14 se observa que a valores bajos de pH no se presenta un aumento considerable de color. Tanto así en valores de 6,5 para el pH, se observa valores que permiten obtener panela con un color cercano al óptimo.

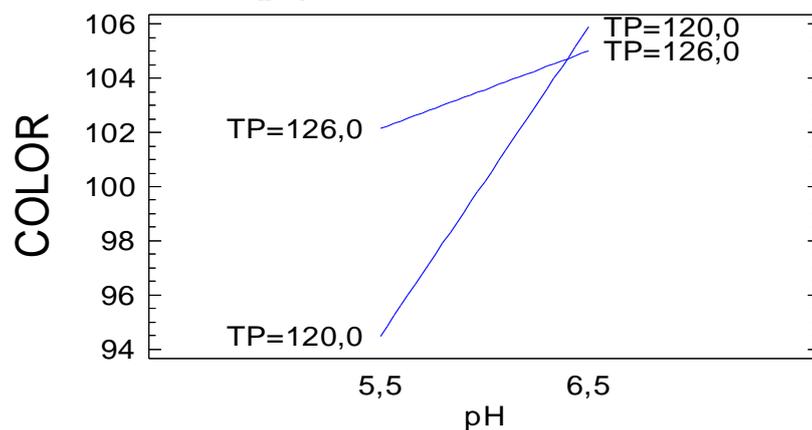


Figura 14: Efecto de la interacción pH vs. Temperatura de punteo (TP).

Tabla 8: Respuesta optimizada del color de la panela.

Valor óptimo = 118,186

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
pH	5,5	6,5	6,5
AG_MALVA	2,0	4,0	2,0
AG_LINAZA	2,0	4,0	4,0
TP	120,0	126,0	126,0

Fuente: Statgraphics Plus 5.1.

Mediante el modelo se puede optimizar la variable respuesta, para este caso, maximizando el porcentaje de color de la extracción de colorante. La Tabla 8 resume los valores de los parámetros hallados por el modelo para obtener el máximo porcentaje de color.

Los valores óptimos para la maximización de la variable respuesta se hallan dentro del rango determinado previamente para el diseño de experimentos, sin embargo, todos tienden a estar ubicados en los extremos de cada variable.

En la Figura 15 se muestra la superficie de respuesta obtenida mediante el modelo. Es posible elegir dos de las variables de entrada como parámetros del gráfico (eje X y eje Y) y una tercera dimensión que sería la variable respuesta misma (eje Z). A la otra variable de entrada es necesario asignarle un valor constante, que para efectos de maximizar la variable de respuesta debe ser asignado el valor dado por la optimización del proceso. En este caso se asignan como parámetros del gráfico, los aglutinantes vegetales (Malva y Linaza) y el Color (variable respuesta). A las otras variables de entrada, se les asigna el valor óptimo hallado por el modelo, 6,5 para el pH y 126 la temperatura de punteo en grados centígrados (°C).

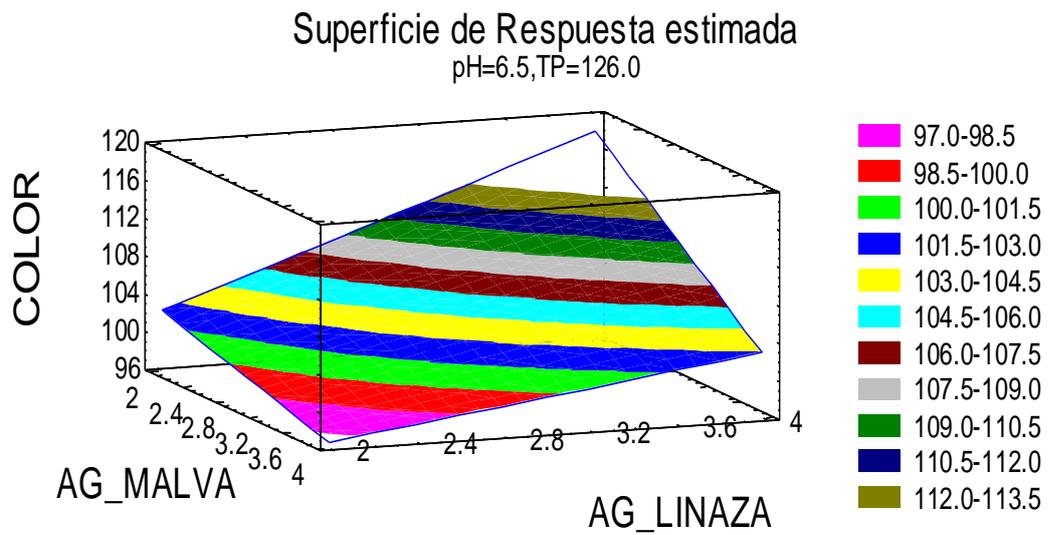


Figura 15: Malva vs. Linaza.

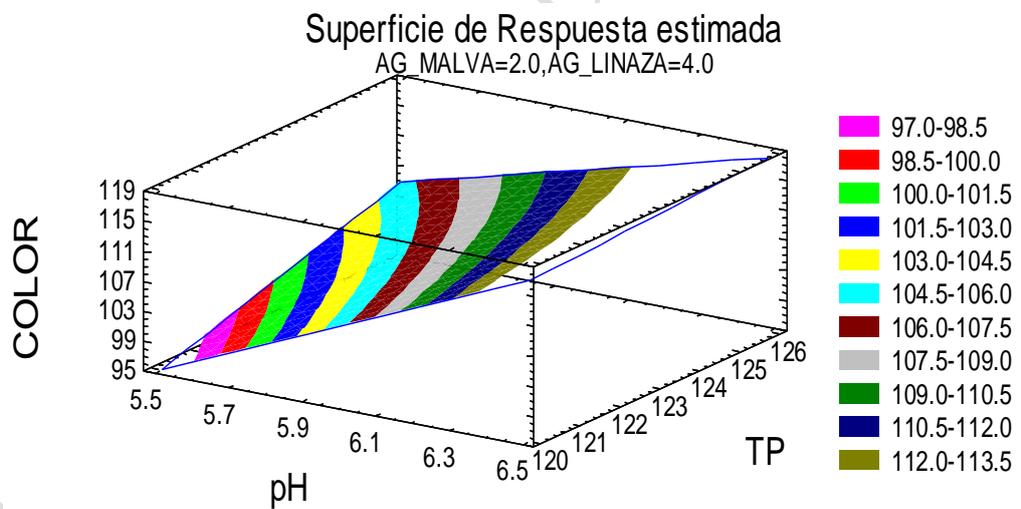


Figura 16: pH vs. Temperatura de punteo.

En la Figura 16 se asignan como parámetros al pH, temperatura de punteo y el color (variable respuesta). A las otras variables de entrada, se les asigna el valor óptimo hallado por el modelo, 2 % para la malva y 4 % a la aglutinante linaza.

Como se observa además que en la superficie de respuesta se muestran a su vez diferentes contornos, cada uno de ellos corresponde a un rango de color obtenido pronosticado por el modelo e ilustran la forma en que este responde a las variaciones de los valores de los parámetros del diseño de experimentos.

La superficie, en términos generales, muestra una superficie en ascenso, sin formas complejas, y sin curvaturas pronunciadas. El óptimo se representa por el punto máximo de la superficie.

En la Tabla 9, se observa lo datos obtenidos en el análisis físicoquímico (Anexo 2) realizado a la muestra elaborada en base a los parámetros óptimos dados por el software estadístico Statgraphics.

Tabla 9. Análisis físicoquímico de una muestra de panela.

Análisis	Resultados
Humedad	2,00 %
Cenizas	1,48 %
Sólidos insolubles	0,47 %
Grasas	0,86 %
Proteínas	1,41 %
Azúcares reductores	0,78 g glucosa/100 g muestra

Fuente: Laboratorio de Química, UPAO. 2011.

Las Figuras 17 y 18, muestran las características de humedad y color, evaluados en un periodo de tiempo de 15 días, la toma de datos se realizó cada tres días hasta completar los 15 días determinados. Se evaluó dos condiciones: la palabra que va acompañado de un asterisco es la segunda condición.

Primero.- panela granulada envasada y sellada;
Segundo.- en bolsa no sellada (Humedad*, Color*).

En la figura 17 el eje vertical está ubicado el porcentaje de humedad, de modo que en el eje horizontal se encuentra el tiempo de evaluación en días.

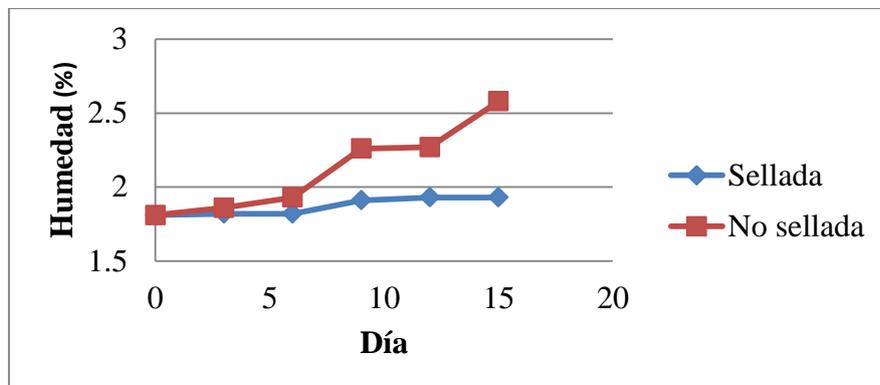


Figura 17: Variación de la humedad en vida de anaquel de la panela granulada obtenida en la investigación.

Se observa en la Figura 17 existe un incremento de 0,12 cuando se hace uso de envasado y sellado; por el contrario cuando no se realiza método alguno de conservación (*) se tiene un incremento de 0,77. En la figura 18 el eje vertical se ubica los valores RGB obtenidos mediante el método explicado en el capítulo de materiales y método, el eje horizontal se encuentra el periodo de evaluación en días.

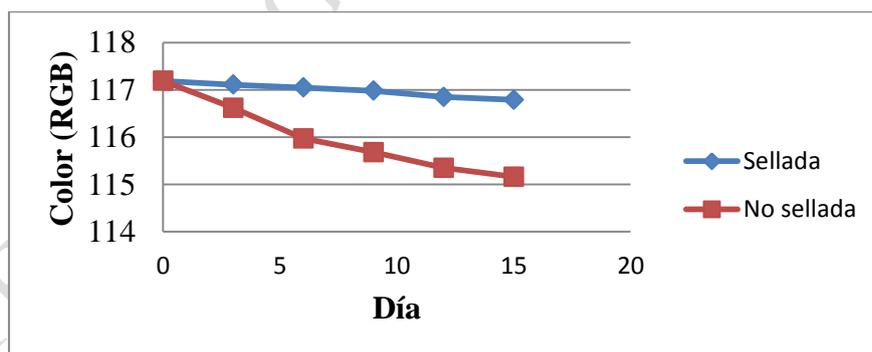


Figura 18: Comportamiento del color en vida de anaquel de la panela granulada obtenida en la investigación.

En la Figura 18 se muestra la variación del color presenta una disminución de -0,4 cuando se hace uso del método de conservación; cuando la panela se colocó en bolsa sin sellar, se registró una disminución de color de -2,03.

IV. DISCUSIÓN

Los cambios en los últimos años en la obtención de la panela granulada han puesto de manifiesto las desventajas de las presentaciones existentes y la verdadera necesidad de una mejora en la utilización de insumos orgánicos y control de parámetros (pH, temperatura de punteo) del proceso, para la obtención de presentaciones adecuadas a las necesidades de la sociedad y su fácil utilización como edulcorante. La mayoría de los estudios realizados sobre el tema se basan en la mejora clásica o convencional mediante el uso de mucílagos y el conocimiento empírico de los operarios en los trapiches.

Mientras que en la mayoría de los edulcorantes, los programas de mejora han generado un número apreciable de nuevas presentaciones (azúcar refinada, azúcar blanca, cubitos, etc.); en la panela, los programas de mejora en presentación son escasos y solo muy pocas variedades han sido registradas hasta la fecha. La principal causa de este retraso es el desconocimiento de la utilización de insumos y control de parámetros.

Los trabajos previos intentaron mejorar las características físicas y la presentación con mejoramiento de sistemas de limpieza y filtrado de jugo de caña (Prada, 2004), el uso de alcalinizante (lechada de cal) y clarificante químicos (polímeros) (Mujica y col., 2008; Mosquera y col., 2003) y uso de aglutinantes vegetales (Prada, 2004; Yoplac, 2008).

El presente trabajo ha tenido como objetivo general minimizar el color de la panela granulada en la planta procesadora del anexo La Coca, distrito de Valera, provincia de Bongará, Región Amazonas. Para ello, se realizaron distintos tratamientos con el

fin de mejorar etapas principales de este proceso (Figura 4). Asimismo se evaluó el efecto del pH, concentración de aglutinante y temperatura de punteo.

Con el fin de estandarizar el proceso de obtención de la panela granulada, con la variedad de caña CH-32 (amarilla costeña), cultivada en la zona, se ha aplicado algunas modificaciones a la técnica propuesta por Prada (2002). Estas incluyeron: la manera de extracción del aglutinante y alcalinizante, como el diagrama de obtención de panela.

El grado madurez de la caña se determinó mediante la relación entre los sólidos solubles totales del jugo de la parte superior y de la parte inferior del tallo, dando valores cercanos a $0,98 \pm 0,05$, coincidiendo por lo referido por Prada (2002) y próximo a 1,00 considerado como valor óptimo por Lozada (1991). Ambos concuerdan con Mosquera (2003) que sí se encuentra entre 0,95 y 1,00 el índice de madurez, se dice que la caña está lista para su cosecha.

Los factores que influyen en la calidad de la panela están relacionados con los climatológicos, agronómicos y de proceso considerado por Mujica y col. (2008). El anexo La Coca cuenta con condiciones favorables para el cultivo de la caña panelera, según lo ha determinado el Proyecto Caña (2009).

El tiempo de cosecha se consideró como máximo hasta los 18 meses, como lo establece García (2004) quien asegura que el momento de cosechar debe establecerse cuando se alcance el punto máximo de rendimiento que debe coincidir con el índice de madurez.

La regulación del jugo de la caña está en función del valor inicial del pH como indica Sandoval y Valverde. (1996), lo cual se tuvo en cuenta en la presente investigación, registrando lecturas en promedio de $5,4 \pm 0,13$. El pH del alcalinizante fue de 11,79

valor que se encuentra en el rango recomendado por el manual elaborado por los especialistas del Proyecto Caña (2009). El pH de 6,5 condujo al resultado adecuado para la variable respuesta del presente trabajo; valor cercano al encontrado por Yoplac (2008) que fue de 6,0 haciendo uso del alcalinizante obtenido de la ceniza de bagazo de caña. Los valores encontrados por Mosquera y col. (2007), Sandoval y Valverde. (2004); Prada (2002), concuerdan con valores de 5,8 para la obtención de panela granulada, con la salvedad que como agente regulador utilizaron lechada de cal, producto químico que en concentraciones que superen este valor de pH ocasiona coloraciones oscuras, perjudicando la calidad del producto.

Para la floculación de las impurezas se empleó mucílagos vegetales, extraídos de la malva y la linaza, que presentan características similares en viscosidad y densidad que los tradicionales mucílagos estudiados como son el cadillo, balso y guácimo (Prada, 2004). La extracción del mucílago de la malva sigue los pasos de descortezado, pesado machacado, maceración y filtrado utilizado por Yoplac (2008) en el cual obtiene un rendimiento del 80 %, resultado cercano al obtenido en la presente investigación, con un rendimiento que llega al 78 %. El mucilago extraído de la linaza alcanza un rendimiento del 92 %, valor que ha sido corroborado con experiencias realizadas en paralelo a esta investigación, donde el promedio en rendimiento registrado fue de 91,26 %.

Pawar y Dongare (2001) reportaron una curva de calentamiento para la elaboración de panela con forma muy similar a la obtenida en esta investigación. La velocidad de calentamiento en la fase inicial fue de $1,80 \pm 0,2$ °C/min, y de $2,2 \pm 0,6$ °C/min en la fase final, ajustándose a lo recomendado por Prada (2002), por encima de 1,5 °C/min. Un comportamiento similar se obtuvo en la presente investigación.

La formación de la cachaza está relacionada con la coagulación de las impurezas influenciado por el valor de pH entre 5,5 y 6,4 del jugo recién extraído, como lo señala Mujica y *col.* (2008), valores similares a los valores encontrados en esta investigación.

Se realizó la regulación del pH del jugo en dos momentos dentro del proceso, a los 40 °C y 80 °C; Mosquera y *col.* (2007), encontró valores de pH entre 4,9 y 5,6, resultados que no coinciden con los valores encontrados en esta investigación, lo mismo ha sido registrado por Sandoval y Valverde (1996), que encuentra valores menores a 5,8 y difiere al resultado encontrado en esta investigación.

Para la temperatura de punteo se consideró los valores de 120 y 126 °C, intervalo que contiene los valores medidos en la fabricación de la panela a nivel casero y en la planta procesadora, la investigación valora como mejor resultado la temperatura final de 126 °C, resultado que dista a los obtenidos por Rivero y Torres (2000), pero que coincide con lo obtenido por Espinoza (1997) y Barona (2002).

El color de la panela es característico por ser un azúcar integral, es decir cuenta con componentes nutritivos como los minerales que le brindan tal aspecto. La valoración del color en investigaciones anteriores ha sido evaluada por el método ICUMSA basado en que el color de la solución filtrada de azúcar es directamente proporcional a su absorbancia, la lectura de datos se da cuantitativamente en unidades UI, a una longitud de onda de 420 nm y, cualitativa mediante la carta de color de Munsell. En la presente investigación se utilizó el software Photoshop SC3, que ha sido utilizado en investigaciones de maduración de frutos, reconstrucción de partes faltantes en las hojas consumidas por ciertas plagas en determinados cultivos, entre otros. Para cuantificar el color se registró su valor óptimo de la panela en 118 RGB, color comparado con la carta de Munsell brinda un color amarillo ocre el cual se acerca a

los señalado por Patil *et. al.* (1994) siendo el color amarillo dorado encontrado en su investigación, además afirma que el color tiene una influencia relevante en la obtención de un buen precio en el mercado; los valores en UI no se determinaron por no contar con una tabla de conversión a estas unidades.

En cuanto al análisis físico químico de la panela granulada obtenida con los parámetros optimizados en el anexo La Coca; para cada propiedad se realizaron comparaciones, con el fin de evaluar la calidad del producto y su variabilidad. Además se utilizaron como referencia las normas técnicas ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) y la norma técnica colombiana NTC 1311 (1991). La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) especifica un límite máximo de 3,00 % en el contenido de humedad, requisito que fue cumplido por la panela obtenida presentando una humedad de 2 %. Espinosa (1997), al igual que la norma técnica ecuatoriana, afirma que para conservar la panela granulada, su humedad no puede ser superior a 3,00 %. Por su parte, Prada (1997) indica que la humedad promedio varía entre 0,80 y 1,50 %.

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) establece que el contenido mínimo de proteína en la panela granulada debe ser de 0,50 %, mientras que para la norma técnica colombiana NTC 1311 (1991) el mínimo es de 0,20 %. La panela obtenida contenía 1,41 % de proteína, de manera que cumplió con este requisito. Un contenido de proteína muy bajo en la panela, puede indicar adulteración por mezcla con azúcar refinado, por lo que este parámetro puede ser de utilidad en la regulación de las actividades de la agroindustria panelera.

La norma técnica colombiana NTC 1311 (1991) determina que el contenido de cenizas debe encontrarse entre 0,80 y 1,90 %. La panela experimental contenía 1,48 % de ceniza con lo que cumplió con este requerimiento. Un valor considerablemente

elevado puede relacionarse a un uso excesivo de cal en la elaboración de la panela, por lo tanto, es recomendable también ordenar un límite máximo.

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 332 (2002) dictamina que los azúcares reductores deben encontrarse entre 5,50 y 10,00 %. Por lo tanto, cumple con este requisito, encontrándose la panela experimental con 0,78 %, valor debajo del límite inferior. Sin embargo, la norma técnica colombiana NTC 1311 (1991) es más flexible, ya que especifica un límite superior del 12,00 %.

La apariencia externa de la panela, representada principalmente por su color y textura, es determinante en la aceptación del producto por el consumidor, de allí la importancia de controlar los azúcares reductores, puesto que al incrementar la higroscopicidad de la panela afectan su textura (Mungare *et. al.* 2001).

Las normas técnicas ecuatoriana y colombiana, no especifican el contenido de sólidos solubles totales que debe tener la panela, sin embargo esta es una variable cuya medición es mucho más sencilla y menos costosa que la determinación del contenido de proteína, por lo que es más factible su aplicación en los centrales paneleros, a los fines de controlar la calidad del producto.

Los sólidos insolubles representan un parámetro de calidad importante principalmente cuando la panela se va a utilizar en la elaboración de bebidas, y es usado por las normas técnicas ecuatoriana y colombiana como criterio de clasificación. Al respecto, la norma técnica colombiana clasifica la panela de acuerdo al contenido de sólidos insolubles (SI) y al número máximo de defectos en 100 g de panela, en extra (máximo un 0,1 % de SI), primera (máximo un 0,5 % de SI) y segunda (máximo un 1,0 % de SI). Por lo que, tomando en cuenta sólo el criterio

para los sólidos insolubles, la panela experimental con 0,47 % de SI puede clasificarse como de “primera”.

Prada (2002) caracterizó los sistemas de limpieza de 25 unidades colombianas de producción de panela, y encontró que el contenido de sólidos insolubles variaba desde 0,4 hasta 1,6 %, y afirma que el 25 % de los sólidos insolubles tiene un tamaño menor de 0,45 μm , y que por lo tanto es necesario incrementar la floculación para facilitar su separación.

TESIS DE GRADO UNTRM D & E

V. CONCLUSIONES

1. El manejo y control en el proceso de elaboración de panela granulada, de los parámetros: pH, aglutinante y temperatura de punteo; mejora significativamente el color de la panela.
2. Se optimizó el valor de pH, aglutinante y temperatura de punteo; logrando minimizar el color de la panela orgánica en la planta procesadora del Anexo La Coca, Distrito de Valera, provincia de Bongará, Región Amazonas. Los valores óptimos son: pH 6,5; 4 % de linaza y temperatura de punteo de 126 °C.
3. El clarificante más adecuado para facilitar la extracción de cachaza fue el aglutinante vegetal obtenido de la linaza.
4. Se graficó la curva de calentamiento del jugo de caña y se evaluó la temperatura de punteo como límite de calentamiento en relación a la altitud geográfica de la ubicación de la planta procesadora; quedando como referencia que a una altitud de 1710 m.s.n.m. se alcanza una temperatura de punteo de 126 °C.
5. Se realizó la caracterización fisicoquímica obteniendo los siguientes resultados: humedad de 2,00 %, cenizas de 1,48 %, sólidos insolubles 0,47 %, Grasas 0,86 %, proteínas 1,41 %, azúcares reductores 0,78 g glucosa/100 g muestra, del producto que se obtuvo con los valores óptimos de los parámetros estudiados en la presente investigación, que permitió observar sus bondades nutricionales y que cumple con las normas técnicas internacionales.
6. Es satisfactorio para los autores de la presente investigación haber realizado una investigación útil, pues los resultados obtenidos no quedarán en los archivos de la biblioteca, sino que estarán en uso directo por los productores de panela de la Región Amazonas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Medir el valor de las variables influyentes con equipos de bajo costo, en la planta procesadora de panela para evaluar la calidad del producto final. Los sólidos solubles totales con un refractómetro manual, pH con pH-metro portátil y color con las cartas Munsell.
2. Realizar estudios más detallados de los aglutinantes vegetales utilizados en la presente investigación, así como el procedimiento de extracción y la temperatura a la que se debe aplicar al jugo de caña durante el proceso de elaboración de panela, y su influencia en el resultado final.
3. Elaborar la ficha técnica agrícola de la linaza para su cultivo en el anexo de La Coca, para contar con el insumo en la cantidad necesaria para el proceso. La linaza posee potencial como aglutinante, lo que se ha demostrado en esta investigación.
4. Evaluar en la panela granulada: humedad, azúcares reductores, color, turbidez y granulometría; para garantizar la estabilidad, apariencia y aptitud para el uso del producto.
5. Elaborar una norma que especifique los términos de referencia para la panela granulada, tomando como referencia las normas técnicas colombiana y ecuatoriana, y los trabajos de investigación pertinentes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AOAC. 1998. Official Methods of Analysis. 15^a ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. EE UU. 1298 pp.
- Barona R. 2002. Proyecto de desarrollo tecnológico: Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera. Municipio de Mocoa. FUNACH-ASCAPAM. Colombia.
- Barona, A. 2002. Composición química de la panela y su potencial nutricional. Colombia: CELATER, RETARDAR, IICA. Cuadernos de agroindustria rural Doc-8.
- Carrera, J. 2004. Manual técnico: manejo y transformación de jugos de caña panelera. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- CIMPA. Caracterización técnica y cultural de la cadena agroindustrial panelera. 1996. pág 54.
- CORPOICA - FEDEPANELA. 2000. Manual de caña de azúcar para producción de panela. 2 ed. Bucaramanga. Pg. 62 – 66.
- CORPOICA. 2000. Curso Internacional de caña panelera y su agroindustria. Colombia.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Fundación de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2004.
- Dirección Regional Agraria Amazonas, 2009. Producción de panela granulada. Chachapoyas.

- Lozada, F. 1991. Manual Práctico sobre el Cultivo de Caña. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Venezuela.
- Espinosa, A. 1997. Manejos de jugo de caña elaboración de panela de buena calidad. II Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. CIMPA. Barboza, Colombia. 353 pp.
- Fajardo, B., D. Molina, J. Ospina, y H. García. 1999. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la panela granulada. Revista Ingeniería e Investigación 43: 34-39.
- FEDEPANELA. 2001. Bases para un acuerdo de desarrollo de la cadena agroindustrial de la panela.
- Fundación de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (Roma, Italia). 2002. Anuario de producción 2001. Roma, FAO.
- García, H. 2003. Mejoramiento de los sistemas de moldeo y de presentación de la panela a nivel de pequeño y mediano productor. CIMPA. Colombia. pp. 8-9.
- Gobierno Regional de Amazonas, 2007. Proyecto “Producción de caña de azúcar y desarrollo de la industria panelera en las provincias de Bagua, Bongará, Rodríguez de Mendoza”. Chachapoyas.
- Guerra, M. y I. Rivas. 2005. Informe de avance. Proyecto FONACIT 2000001555: Optimización del proceso de obtención de panelas en sus diferentes presentaciones y evaluación de su calidad. Venezuela. p.7.
- Hernández, E. y F. Amaya. 2003. La calidad nutricional alternativa para recuperar el consumo de panela o papelón. INIA-Táchira. Venezuela.

- Jadhav, H., T. Mungare, J. Patil, R. Hasure, B. Jadhav y J. Singh. 2001. Effect of staling of sugar cane on juice and jiggery quality (Co 740). Cooperative Sugar. 32 (10):821-825.
- Jadhav, H., J. Patil, T. Mungare, R. Hasure, A. Hasabnis y J. Singh. 2002. Effect of juice pH and hydros (sodium hydrosulphite) on quality of jaggery. Cooperative Sugar. 33 (10):827-828.
- Ministerio de Agricultura. 2005. La cadena agroindustrial de la panela en Colombia. Bogotá.
- Ministerio de Agricultura. Guía para la elaboración de panela. 2002. Cocoa.
- Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Ibero América México.
- Mosquera, A., J. Carrera y H. Villada. 2007. Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del cauca. Facultad de ciencias agropecuarias. Vol. 5 N° 1.
- Mujica, M., M. Guerra y N. Soto. 2008. Efecto de la variedad, lavado, de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada. Caracas. Editorial Interciencia.
- Mungare, T., H. Jadhav, J. Patil, R. Hasure, B. Jadhav y J. Singh. 2000. Clarification technique for producing quality jaggery. Cooperative Sugar 32(4): 283-285.
- Mungare, T., H. Jadhav, J. Patil, U. Shinde, B. Jadhav y J. Singh. 2001. Clarification technique in quality jaggery making. A review. Cooperative Sugar 32(12): 1013-1017.

- NTC 1311 (Norma Técnica Colombiana 1311). 1991. Productos Agrícolas. Panela. Segunda Actualización. ICONTEC. Colombia. pp. 1-4.
- NTE INEN 2 332 (Norma Técnica Ecuatoriana 2 332). 2002. Panela Granulada. Requisitos. Primera Edición. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador. pp.1-2.
- Padrón, P. 2009. Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*. *Agronomía Costarricense*, v.33, n.2, p.283-301.
- Patil, J. y P. Adsule. 1998. Studies on various quality parameters for grading of jaggery. *Indian Food Industry*. 17(4):215-217.
- Patil, J., S. Wandre, N. More, H. Jadhav y A. Habsanis. 1994. Influence of different varieties and harvesting stages of sugar cane on quality of jaggery. *Cooperative sugar* 25 (9&10): 377-380.
- Pawar, S. y M. Dongare. 2001. Scientific studies on jaggery manufacturing process. *Cooperative Sugar*. 32(5):369-374.
- Pawar, S. y M. Dongare. 2003. On-line process control unit for jaggery manufacturing industry. *J Instrum. Soc. India* 33 (4): 252-257.
- Pawar, S. y M. Dongare. 2001. Scientific studies on jaggery manufacturing process. *Coop. Sugar* 32: 369-374.
- Peña, D. 2002. Regresión y diseño de experimentos. Madrid: Editorial Alianza S.A.

Photoshop SC3, 2007. http://help.adobe.com/es_ES/Photoshop/10.0/WSECCD001A-4989-4451-A752-63D5EF9D5619.html.

Prada, L. 1997. Metodología HACCP. Una propuesta para el aseguramiento de la calidad en la panela. II Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. CIMPA. Colombia. pp. 325-335.

Prada, L. 2004. La limpieza de los jugos un requisito indispensable para la calidad de la panela y de las mieles. 10p.

Proyecto Caña, 2009. Manual de elaboración de panela en la región Amazonas. Chachapoyas. Segunda Edición. Autor.

Rivero, C. y C. Torres. 2000. Evaluación de mucílagos vegetales como agentes clarificantes del jugo de caña. Trabajo Especial. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto, Venezuela. 113 pp.

Rodríguez, G. 2006. La agroindustria rural de la panela en Colombia. Roles, problemática y nuevos retos. Artículo Científico. CORPOICA. COLOMBIA.

Saldoval, G. y N. Valverde. 1996. Tecnologías Agroindustriales Panela. II Encuentro Internacional sobre la Agroindustria Panelera. Ecuador/Puyo.

Tiwari, G., K. Sanjeev y O. Prakash. 2004. Evaluation of convective mass transfer coefficient during drying of jaggery. Journal of Food Engineering 63: 219-227.

Tiwari, R. y A. Chatterjee. 1998. Evaluation of early and mid-late sugar cane (*Saccharum officinarum*) varieties for yield of mill able cane and quality of jaggery. Indian Journal of Agricultural Science. 68(5):255-257.

Torres, E. 2010. Superficie respuesta. Optimización por diseños experimentales con Statgraphics plus 5.1. Separatas. Curso dictado en el centro de cómputo de la UNAT-A.

Velázquez, H., A. Agudelo y J. Álvarez. 2005. Mejorando la producción de panela en Colombia. LEISA Revista de Agroecología. Colombia. 21(1): 32-35.

Verma, V. y N. Maharaj. 1990. Moisture absorption isotherms of jaggery. Journal of StoredProductResearch.26 (2):61-66

Yoplac, I. 2008. Efecto de alcalinizado y aglutinantes vegetales obtenidos a partir del “cadillo” y “balso” en las características físico químicas de la panela granulada. Tesis de Grado de Titulación, Chachapoyas.

Disponible en internet:

Agmark. 1943. Sugar canegur (jaggery) grading and marking rules. Agricultural Marketing Adviserto the Government of India. Disponible en <http://www.agmarknet.nic.in>. Accesado el 12/10/2010.

Almengor, D., L. De León y F. Tartanac. 1998. Mejoramiento tecnológico de la producción de panela en pequeños trapiches del Huehuetenango. INCAP y Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en <http://www.condesan.org>. Accesado el 12/10/2010.

Coagulación y floculación. 2000. [on line] disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/PerCBA>. Accesado el 05/10/2010.

Coagulación y floculación. 2005. [on line] disponible en: www.tecnologialimpia.org/html/central3555/pr. Accesado en 05/10/2010.

Corporación colombiana para el desarrollo de la agroindustria panelera (2004) [on line] disponible en: www.corpcolombia.org.c. Accesado el 15/10/2010.

Influencia de la temperatura en sólidos insolubles de un líquido. 1998. [on line] disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Coloide>. Accesado el 05/10/2010.

Kumar, A. y G. Tiwari. 2005. Effect of shape and size on convective mass transfer coefficient during greenhouse drying (GHD) of jaggery. Journal of food engineering. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>. Accesado el 18/10/2010.

La panela granulada, concepto. 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/panela>. Accesado 04/10/2010.

Prada, L. 2002. Mejoramiento en la calidad de miel y panela. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Mejoramamiento%20en%20la%20calidad%20de%20miel%20y%20panela.pdf. Accesado 08/10/2010.

Suspensión de partículas sólidas en un fluido. 2000. [on line] disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/fluido_en_suspension. Accesado el 05/10/2010.

Usos tecnológicos de la panela. 1998. [on line] disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Edulcorante> Accesado el 05/10/2010.

TESIS DE GRADO UNTRM D & E

VIII. ANEXOS

Anexo 1

FORMATO DE REGISTRO DE DATOS EXPERIMENTALES

Corrida Experimental N°

Fecha:...../...../.....

Lugar:.....

Hora:.....

1. Variedad de caña:
2. Índice de madurez:.....
3. Rendimiento de la caña:.....
4. pH del jugo de la caña:.....
5. Sólidos solubles totales:.....
6. Tratamiento: factor A¹..... B²..... C³..... D⁴.....
7. Curva de calentamiento:

Tiempo	Lectura: temperatura °C
00	
02	
04	
06	
08	
10	
12	
14	
16	
18	
20	
22	
24	
26	
28	
30	
32	
34	
36	
38	
40	
42	
44	
46	
48	
50	

Total de panela granulada obtenida:

.....

OBSERVACIONES:.....

.....

Anexo 2

Métodos y procedimientos para el análisis fisicoquímico del mejor tratamiento obtenido en la investigación

Recomendado por: AOAC. 1998

1. Evaluación de la Humedad – Método Automático

Se realizará por el método de secado automatizado en una balanza de humedad.

La humedad representa el contenido de agua libre. 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.

2. Evaluación del porcentaje de sólidos insolubles – Método Gravimétrico

Consiste en la retención de sustancias insolubles en la membrana filtrante y su posterior cuantificación gravimétrica. Fórmula a utilizar:

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

Donde:

W_i : peso del papel filtro vacío (g)

W_f : peso del papel filtro con los sólidos retenidos durante el filtrado (g)

$W_{muestra}$: peso de la muestra (g)

3. Evaluación de azúcares reductores, se determinará la cantidad de azúcares reductores usando el Método de Berlín.

Se emplea una solución de Müller compuesta por CuSO_4 , como principal agente reductor. Se calienta haciendo uso del “baño maría”, el azúcar invertido reduce

los iones cúpricos a óxido cuproso. Después de enfriar, los iones cúpricos residuales son titulados con una solución de yodo. Fórmula:

$$\%AR = \frac{[I * F_i - T * F_t * 100]}{W_{muestra}}$$

Donde:

I : volumen de solución de yodo requerido (mL)

F_i : factor de valoración de yodo

T : volumen de solución de tiosulfato de sodio (gasto, mL)

F_t : factor de valoración del tiosulfato de sodio

W_{muestra} : peso de la muestra (mg)

4. Evaluación del porcentaje de cenizas sulfatadas - Método Gravimétrico

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

$$\%Ceniza = \frac{P_f - P_c}{P_m} * 100$$

Donde:

P_c : peso del crisol (g)

P_f : peso del crisol final con la muestra (g)

P_m : peso de la muestra (g)

5. Evaluación de proteínas – Método de Kjeldahl

Este método consiste en la destrucción de la materia orgánica (muestra de panela), con ácido sulfúrico concentrado, reacción que generará sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila

recibiéndolo en ácido bórico, formando por último borato de amonio, el que se valora con ácido clorhídrico. Fórmula:

✓ Porcentaje de nitrógeno

$$\%N = \frac{0.014 * V * N}{W} * 100$$

Donde:

N : contenido de nitrógeno (%)

V : volumen gastado de HCL (mL)

W : peso de muestra (g)

✓ Porcentaje de proteína

$$\%Proteína = \%N * f$$

Donde: f : factor (6,25)

6. Evaluación de grasa total -Método de Soxhlet

Este método consiste en la extracción de lípidos mediante un solvente (hexano o éter de petróleo), a la temperatura de ebullición del solvente, la función del solvente es extraer el aceite que se encuentra en la muestra, se deposita en un matraz, previamente pesado y se calcula el contenido de grasa por diferencia de peso. Fórmula:

$$\%Grasa = \frac{P_3 - P_1}{P_2} * 100$$

Donde:

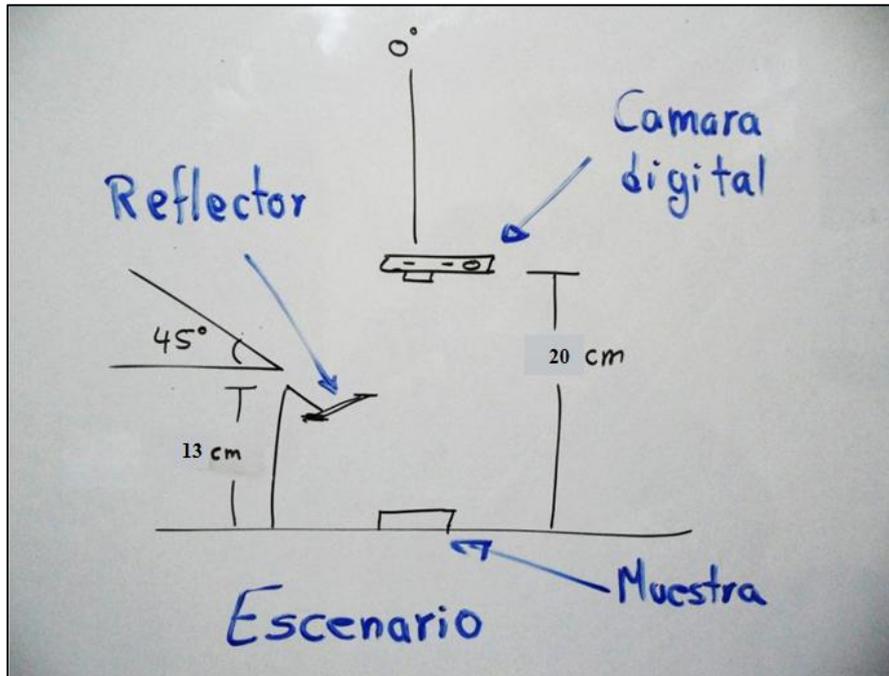
P1 : peso del balón vacío (g)

P2 : peso de la muestra (g)

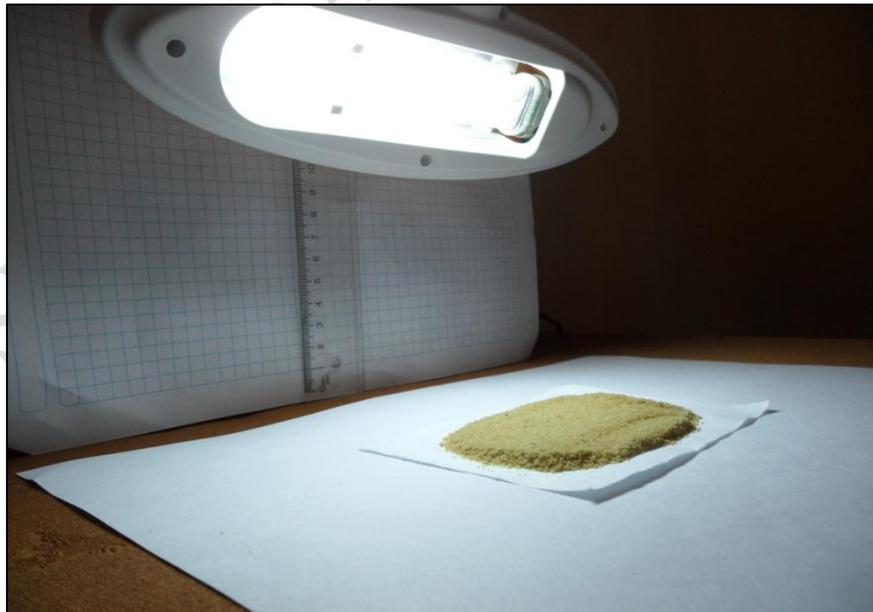
P3 : peso del balón con la grasa extraída (g)

Anexo 3

Método de captura de imágenes digitales



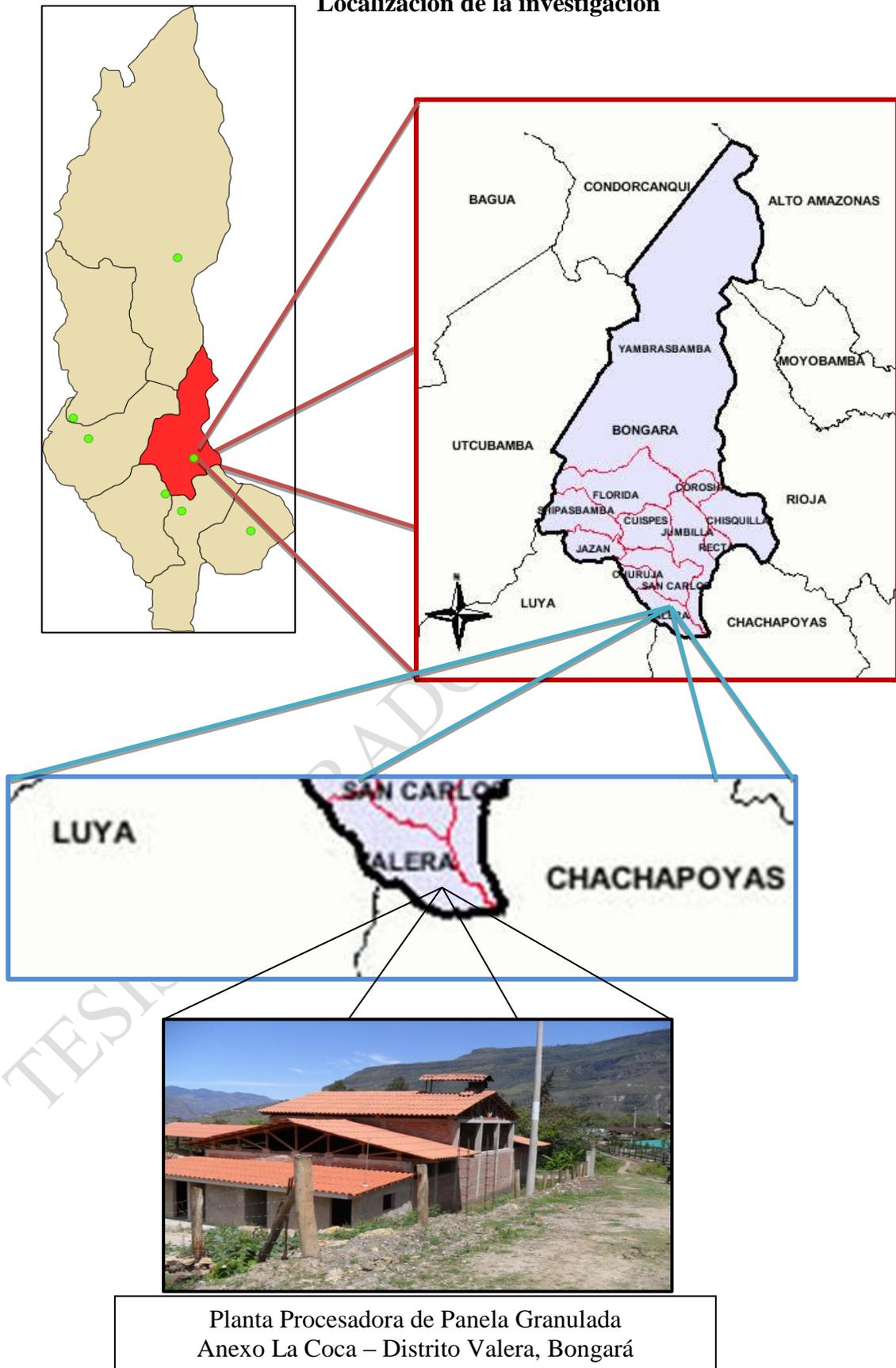
Fotografía 1. Ubicación de los componentes para la captura de imagen.



Fotografía 2. Escenario para tomar la imagen digital de la panela granulada.

Anexo 4

Localización de la investigación



Anexo 5

Croquis de ubicación de la planta procesadora de panela de La Coca



Anexo 6

Evaluación del color de la panela granulada

Efectos estimados para COLOR

Promedio	= 101.884 +/- 0.853313
A: pH	= 7.14875 +/- 1.70663
B: AG_MALVA	= -4.68375 +/- 1.70663
C: AG_LINAZA	= 4.40125 +/- 1.70663
D: TP	= 3.38875 +/- 1.70663
AB	= -6.28875 +/- 1.70663
AC	= 3.56625 +/- 1.70663
AD	= -4.27625 +/- 1.70663
BC	= -4.74125 +/- 1.70663
BD	= 0.47125 +/- 1.70663
CD	= 3.13125 +/- 1.70663

Los errores estándar están basados en un error total con 5 g.l. (grados de libertad)

Esta tabla muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones. También se muestra el error normal de cada uno de los efectos, el cual mide su error de muestreo.

Anexo 7

Análisis de la varianza para color - se evaluó el color de la panela granulada

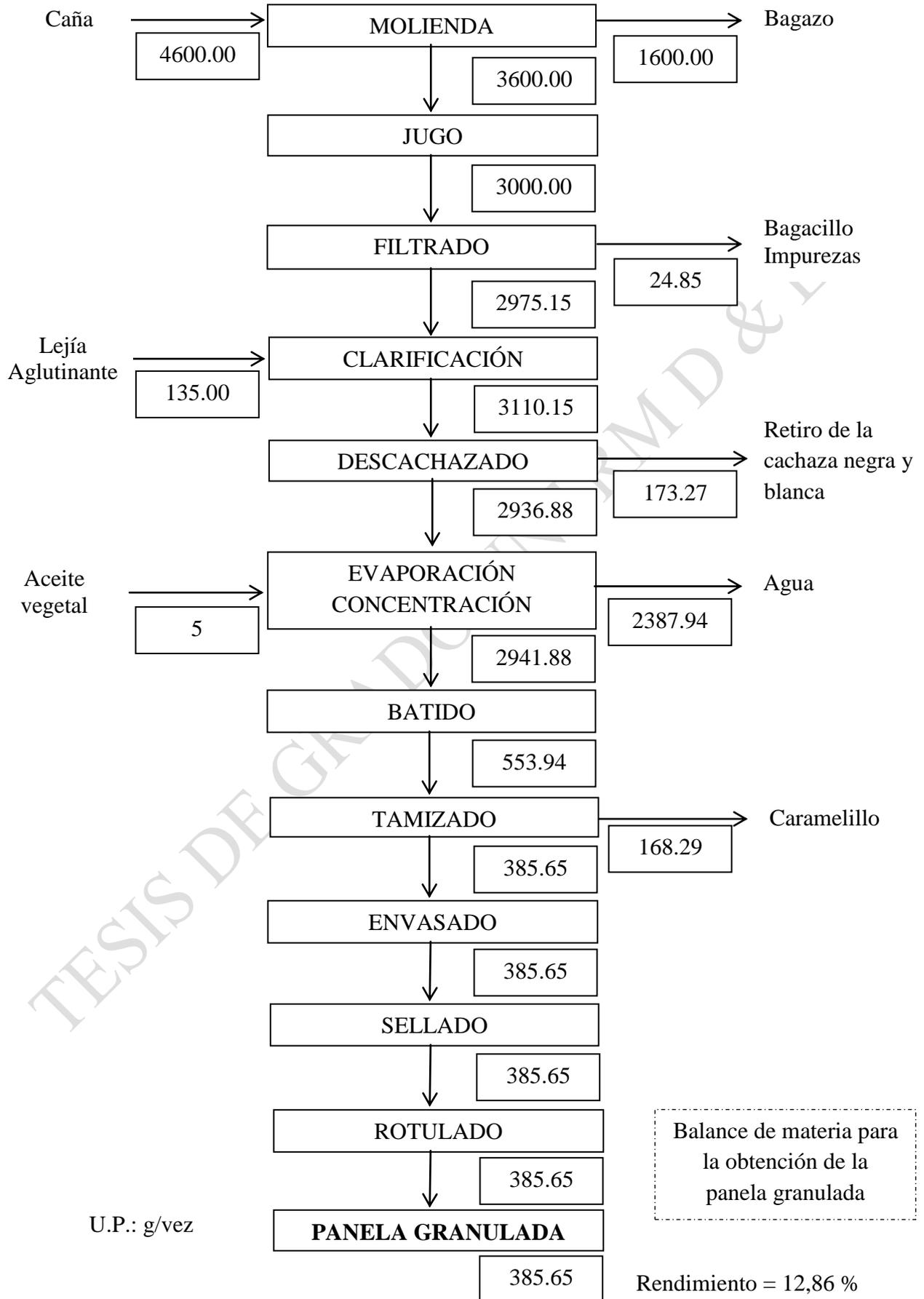
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: pH	204.419	1	204.419	17.55	0.0086*
B: AG_MALVA	87.7501	1	87.7501	7.53	0.0406*
C:AG_LINAZA	77.484	1	77.484	6.65	0.0495*
D: TP	45.9345	1	45.9345	3.94	0.1038ns
AB	158.194	1	158.194	13.58	0.0142*
AC	50.8726	1	50.8726	4.37	0.0909*
AD	73.1453	1	73.1453	6.28	0.0541*
BC	89.9178	1	89.9178	7.72	0.0390*
BD	0.888306	1	0.888306	0.08	0.7935ns
CD	39.2189	1	39.2189	3.37	0.1260ns
Error Total	58.2514	5	11.6503		
Total (corr.)	886.075	15			

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en COLOR en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos. En este caso, 5 de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 93,4259% de la variabilidad en COLOR. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 80,2777%.

El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 3,41325. El error absoluto de la media (MAE) de 1,68812 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es inferior a 0,05, hay indicios de una posible correlación de serie.

Anexo 8



Anexo 9

Color de la panela granulada



Fotografía 3. Panela obtenida en la Planta Procesadora de La Coca.



Fotografía 4. Panela obtenida en la presente investigación.

Anexo 10

Teoría del color

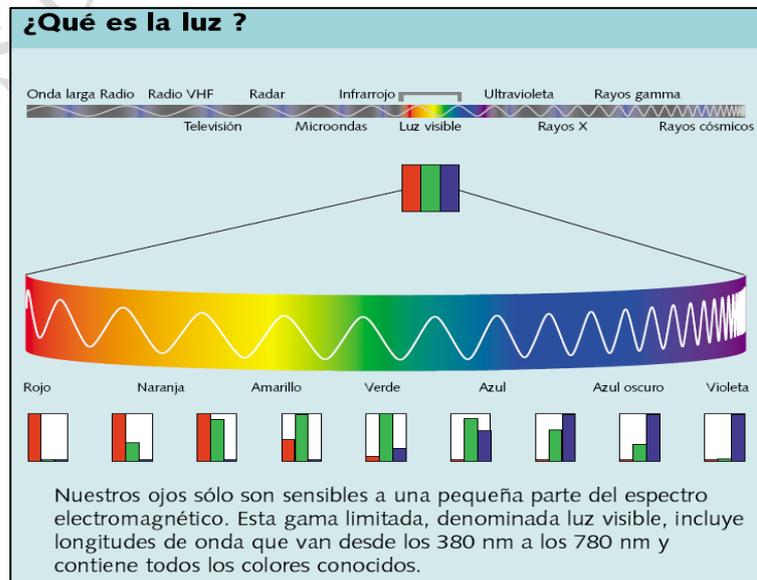
El color

Antes de entrar en los perfiles ICC, debemos saber qué es el color. Para ello empezaremos por definir la luz, ya que sin luz, el color no existe.

La luz

El sol, como nuestro principal "proveedor" de luz, emite lo que se llama radiación electromagnética. Esta radiación está compuesta por millones de ondas, de distintas frecuencias que inundan nuestro entorno. La longitud de estas ondas, se mide en nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$ metros). Estas ondas componen los conocidos rayos gamma, rayos ultravioletas, las ondas de radio, etc.

El intervalo que va desde 400 nm a 780 nm, es el rango VISIBLE para el ojo humano, en el cual se encuentran TODOS los colores que somos capaces de ver. Esta limitación de rango viene definida por las características del ojo humano. A este rango se le denomina como el espectro visible.



Apoyados en el gráfico, se deduce que cuando vemos "rojo", nos llegan ondas cercanas a 700 nm, cuando vemos "azul" cercanas a 400 y así sucesivamente. Si nos llega la misma cantidad de todas las longitudes de onda, veremos "blanco". Normalmente, las fuentes de luz (el sol, una bombilla), son más o menos blancas, incide en un objeto, el cual le "resta" frecuencias y llega a nuestros ojos con color.

El color de las cosas

Toda la materia de la naturaleza posee lo que se llama pigmentación, ésta, es la que da color a las cosas. Por ejemplo, una manzana típica "roja". En un ambiente oscuro no la veremos, por lo que necesitamos una fuente de luz, que para nuestro ejemplo va a ser el sol. Bien, ¿Por qué vemos la manzana roja? En la luz "blanca" del sol "van" todos los colores pero la misma cantidad de cada uno de éstos, al incidir contra la manzana, por las propiedades de la misma, hace que algunas longitudes se "queden" y que otras se reflejen. En nuestro caso, nos refleja las longitudes cercanas a 700 nm lo que hace que la veamos "roja".

El color de una cosa, son las frecuencias que se reflejan, por tanto que no absorbe, el propio objeto, por lo que la deducción lógica nos dice que el color de la manzana depende de cómo sea la luz que recibe, es decir, cuánto de cada color recibe. De ahí la importancia de la fuente de luz a la hora de juzgar un color.

El color de la luz (la temperatura)

El color de la luz va a depender de la cantidad de ondas que tenga de cada longitud. Para poder definir el color de la luz, se utiliza lo que se llama temperatura de la luz, y como medida de temperatura sus unidades que son los grados, pero en vez de centígrados, se utilizan los Kelvin.

Cuando tenemos una luz de 5000° K quiere decirnos el color de la luz, y que a ese color le corresponde un espectro de color en particular. Pues si ya sabemos (por qué medimos la temperatura) la luz que le llega a una superficie, y sabemos la que nos devuelve (porque lo medimos con un espectrofotómetro) sabemos el "Nombre" y "apellido" del color, es decir, qué color es con qué iluminación, pues a esta altura todos sabemos que a diferente luz diferente color.

Un error muy común, es confundir luminosidad con la temperatura. La luminosidad es la intensidad de la luz, cuánta luz hay, no de que color. Se puede tener poca luz (una linterna) y muy "azulada" y tener un gran foco de 100,000 W con una luz amarillenta. Al acercarse más a un foco de luz, no cambia la temperatura (en un caso ideal) sino la intensidad. La intensidad se mide en Lux o Candelas por cm cuadrado (Cd/cm²).

La unión de la intensidad y la temperatura forman lo que se llama el Iluminante. También es necesario tratar de definir los grados del campo de visión (esto también afecta el color) y tener un observador que sepamos que "ve", gracias a esto se establecieron 2° como la medida estándar del observador, se definieron las iluminaciones estándares, y se postularon los principios para RGB, XYZ, xyY, HSB, LAB.