

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**CARRERA INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**TEMA:**

**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES DE LAS ETAPAS  
DE CONCENTRACIÓN Y CRISTALIZACIÓN EN EL COLOR DE LA  
PANELA GRANULADA**

**AUTOR:**

MIGUEL ANGEL RAMOS FIGUEROA

**TUTOR:**

Dr. AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ

PUYO- ECUADOR

2019-2020



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “*Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada*”, le corresponde exclusivamente a Miguel Ángel Ramos Figueroa, autor bajo la Dirección del Dr. Amaury Pérez Martínez y Víctor Cerda Mejía Directores del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Estatal Amazónica.

---

Miguel Ángel Ramos Figueroa

# CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766 y Víctor Cerda Mejía con CI: 1802850022 certificamos que Miguel Ángel Ramos Figueroa egresados de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica, realizaron el Proyecto de investigación titulado: ***“Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada”***, previo a la obtención del título de Ingeniero(a) Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

---

Amaury Pérez Martínez

---

Víctor Cerda Mejía





## **CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: **“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES DE LAS ETAPAS DE CONCENTRACIÓN Y CRISTALIZACIÓN EN EL COLOR DE LA PANELA GRANULADA”**

---

Dr. Yasiel Arteaga

Presidente de Tribunal

---

Dr. Reinier Abreu

---

M. Sc. Cristian Abad

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a todas aquellas personas que han está presente apoyándome a lo largo de mi vida y en el presente trabajo*

## **DEDICATORIA**

*Dedico el presente trabajo a mis familiares más cercanos por todo el apoyo brindado.*

*A mis docentes en especial a mis tutores al brindar sus conocimientos apoyándome en el crecimiento intelectual para lograr la meta anhelada.*

*Miguel Ramos*

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad determinar la influencia de parámetros operacionales durante la producción de panela granulada en una pequeña industria. Se identificaron parámetros operacionales fisicoquímicos como temperatura, pH, tiempo y color en dos diferentes etapas durante la producción. Las etapas seleccionadas para el trabajo fueron la de concentración y cristalización, las muestras tomadas se analizaron en los laboratorios para generar una tabulación de datos. Parte de la metodología fue tomar muestras aleatorias de datos cuantitativos para la concentración, la muestra tomada en la cristalización proviene del mismo lote sometida a agitación mecánica a r.p.m. simulando el trabajo realizado por el operario en la etapa para poder cuantificar en caso de ser requerido. Para realizar los análisis se tomó en cuenta la normativa nacional para la panela granulada NTE INEN 2332, el color NTE INEN 268, el color no describe proceso alterno para la panela por ello se recurrió a la aplicación de la normativa NMX-F-526-SCFI-2012, el pH la normativa NMX-F-266-SCFI-2012, aplicadas en laboratorio. Los datos o valores obtenidos en laboratorio y campo fueron utilizados para analizar estadísticamente por *Statgraphics Centurion XVI*, la función utilizada dentro del programa computacional fue la regresión múltiple. Por medio de la cual se obtuvo la relación entre las variables independientes con las variables dependientes en cada etapa. El color en la concentración mostro tener una relación fuerte con el pH y la temperatura inicial en cambio la cristalización demostró tener una relación fuerte entre el color final y color inicial.

**Palabras Clave:** Panela granulada, color, parámetros operacionales, regresión línea multivariada.

## ABSTRACT

The purpose of the present work was to determine the influence of operational parameters during the production of granulated panela in a small industry. Physicochemical operational parameters such as temperature, pH, time and color were identified in two different stages during production. Two stages were selected for this work; concentration and crystallization, the samples taken and analyzed in the laboratory was used to generate tabulation data. In developing the methodology, samples of quantitative data were taken randomly for the concentration, the sample taken at the crystallization stage comes from the same batch submitted to mechanical agitation at r.p.m. simulating the work done by the operator in the stage to be able to quantify if is required. Additionally, to evaluate the data, national regulations for granulated panela NTE INEN 2332 and for the color NTE INEN 268 were used, the color does not describe an alternate process for the panela, so the application of the regulation NMX-F-526- SCFI-2012 was taken into account, for the pH standard NMX-F-266-SCFI-2012, all applied in the laboratory. The data or values obtained in the laboratory and field were used to statistically evaluate by *Statgraphics* Centurion XVI, the function used in the computer program was multiple regression. Whereby the relationship between independent and dependent variables at each stage was obtained. The color in the concentration showed to have a strong relationship with the pH and the initial temperature, on the other hand, the crystallization proved to have a strong relationship between the final and initial color.

**Keywords:** Brow sugar, color, operational parameters, multiple regression.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN. ....	3
1.1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS .....	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL: .....	4
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO: .....	4
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2. TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE PANELA. ....	9
2.2.1. PARÁMETROS OPERACIONALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PANELA. .....	10
2.3 FENOMENOS QUE OCURREN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA. ....	14
2.3.1 CONCENTRACIÓN DE LA MELADURA.....	14
2.3.2 CRISTALIZACIÓN DE LA PANELA.....	16
2.4 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN MULTIPLE DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES Y DE CALIDAD. ....	17
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>19</b>
<b>3 METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>19</b>
3.1 LOCALIZACIÓN .....	19
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	19
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	20
3.3.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y ANALISIS EN LABORATORIO .....	20
3.4 FUENTES DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
3.5. METODOLOGÍA APLICADA PARA EL ANALISIS DE LABORATORIO Y LA RECOLECCION DE DATOS.....	21
3.5.1. Caracterización de la melaza.....	21
3.5.2 Caracterización de la cristalización.....	22
3.5.3 Metodología aplicada a los datos recolectados.....	24
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>25</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>25</b>
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES Y EL COLOR DE LA PANELA. ....	25

4.1.1 DATOS MEDIDOS EN LA ETAPA DE CONCENTRACION DURANTE LA PRODUCCION DE PANELA GRANULADA.....	25
4.1.2 DATOS MEDIDOS EN LA ETAPA DE CRISTALIZACION DURANTE LA PRODUCCION DE PANELA GRANULADA.....	26
4.2 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES OPERACIONALES EN EL COLOR DE LA PANELA. ....	26
4.2.1 Influencia de las variables operacionales sobre el color en la etapa de concentración. ....	26
4.2.2 Influencia de las variables operacionales sobre el color final en la etapa de cristalización. ....	29
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>31</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	31
5.2 RECOMENDACIONES.....	31
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>32</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN DEL JUGO DE CAÑA .....	5
TABLA 2. MUESTRAS Y VARIABLES DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN. ....	25
TABLA 3. MUESTRAS Y VARIABLES EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN. ....	26
TABLA 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS VARIABLES DE LA ETAPA DE CONCENTRACIÓN .....	27
TABLA 5. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL MODELO .....	27
TABLA 6. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS VARIABLES DE LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN .....	29
TABLA 7. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS VARIABLES DE LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL PODER EDULCORANTE RELATIVO DE VARIOS AZUCARES.....	6
FIGURA 2. ABANICO COLORIMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COLOR EN LOS EDULCORANTES.....	7
FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE PRODUCCIÓN DE PANELA.....	11
FIGURA 4. ABSORCIÓN DE AGUA DE ALGUNOS AZUCARES RESPECTO A LA HUMEDAD RELATIVA. ....	16
FIGURA 5. GRAFICO DEL COLOR OBSERVADO CONTRA EL PREDICHO .....	28
FIGURA 6. GRAFICO DEL COLOR OBSERVADO CONTRA EL PREDICHO .....	30

# CAPITULO I

## 1 INTRODUCCIÓN

La agroindustria panelera es una actividad de importancia económica en las diferentes regiones, genera empleos directos e indirectos para su producción y comercialización, dentro de la provincia existen diferentes productores de panela en pequeñas empresas y artesanales, la relevancia del producto por su fácil acceso para el consumo pone el interés de los productores y autoridades para satisfacer las necesidades de los consumidores (J. González et al., 2016).

Los productores poseen los conocimientos empíricos de la producción de panela en la mayoría de los casos. El proceso de producción requiere fortalecer los conocimientos y la toma de decisiones evitara perdidas de producto, facilitara el acoplamiento de la producción a las normas establecidas por los organismos reguladores, beneficiando a todos los involucrados (Suárez , González, Rojas , y Londoño 2017).

El proceso de producción tiene importancia, en sus diferentes etapas cada una de ellas aporta al resultado del producto final. La calidad es parte de la preocupación de los consumidores al igual que el precio por ello los productores atraviesan dificultades en situaciones relacionadas al control y estabilidad de productos homogéneos (Useda y Guzmán 2016).

La carencia de instrumentos tecnológicos, conocimientos bien justificados durante la producción, dan como resultado variaciones en el producto final, perdidas de producto, obtención de producto no deseado, que dificulta su comercialización o la utilización en la alimentación animal (J. González et al., 2016).

Entre los factores que se conoce que pueden influir en estas variables tenemos el proceso de clarificación, el proceso de batido, paso previo a salida del producto antes del empaque. El enfoque en el proceso de batido facilitara a controlar ciertos parámetros como el color existe evidencia que el tiempo de batido y concentración del jugo entrante influyen en la característica del color (Ramírez, Quiñonez, Parra, y Contreras, 2017).

Las etapas siguientes del proceso como concentración y cristalización influyen también en la calidad final de la panela por la variación en el pH, los °Brix, y el color en la producción artesana (Mascietti, 2014).

La panela atributos de calidad pueden ser clasificados de varias formas, entre los generales tenemos los organolépticos, como el color se considera el aspecto visual, el sabor que es detectado por el gusto, el aroma referente a la esencia, la textura relacionada a sensaciones como aspereza o suavidad (Masciotti, 2014).

El color del producto es de importancia en la mayoría de los casos los consumidores, se ven atraídos por color del producto además del proceso, la mayor parte de los consumidores de panela la prefieren en bloque, la panela posee una diferencia con la azúcar refinada, el color es clasificado por el abanico colorimétrico y el método utilizado es CIE-LAB, la metodología para el color también está relacionada a la normativa ICUMSA (Moreno, Gallardo, y Torres, 2016).

La panela conserva la mayoría de los nutrientes de la materia prima en el caso la caña, el proceso no involucra químicos lo cual es un atractivo para aquellas personas o nicho de mercado que mantiene una vida saludable (Masciotti, 2014).

El desarrollo de la agroindustria es un potencial para la productividad causa un impacto en el desarrollo territorial y mejora la capacidad de competencia en el exterior, se adquiere mayor conocimiento en políticas públicas, también mejora las relaciones comerciales existentes (Martínez y García, 2018).

La industrialización de la producción de panela ha comprobado la diferencia en rendimiento al utilizar diferentes tecnologías. También ha requerido de una inversión económica y el conocimiento que se debe poseer es mucho mayor que la producción artesanal (Prada , García , y Cháves 2015).

En el proceso de evaporación han presentado cambio en las características organolépticas de la panela y mieles (Prada , Chaves , y García, 2015).

En el Ecuador la producción de panela se produce de manera artesanal. Presenta una diversidad de colores. Esto es ocasionado por el poco conocimiento de parámetros de calidad durante su elaboración en las diferentes etapas (Moreno et al., 2016).

La variación de color la panela y los alimentos está relacionada a sustancias o propiedades naturales debido a su composición, pueden ser influenciadas por reacciones químicas o enzimáticas ocasionadas de manera espontánea o forzada en algunos casos (Moreno et al., 2016).

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN.**

### ***1.1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN***

La producción de panela en la amazonia ecuatoriana presenta una deficiencia de calidad debido al bajo control de parámetros operacionales, la deficiencia tecnológica dentro de la industria y las buenas prácticas de manufactura (Useda y Guzmán 2016).

Los parámetros de operación al ser controlados permiten visualizar el comportamiento de variables independientes de la producción como es el caso del pH y la temperatura, son factores determinantes para el producto final tenga una buena calidad en aspectos como el color y azúcares reductores (Ramírez et al., 2017).

La panela granulada posee diferentes características que la pueden clasificar en niveles de calidad en general el público asimila el color con la calidad del producto, sin tomar en cuenta otras características (Quezada, 2012).

La pequeña industria panelera el valle ubicada en la provincia de Pastaza en el cantón Puyo parroquia Tarqui, nos facilitó la apertura para realizar el estudio del caso, ya que ellos no presentan un control de los parámetros operacionales, por ello poseen una alta variabilidad del producto final en el color.

### ***1.1.2 JUSTIFICACIÓN***

El presente trabajo pretende determinar dentro de la producción de panela granula los parámetros operacionales que influyan de manera significativa en el color, en la etapa de concentración y cristalización. Por medio de datos recolectados al azar para realizar un análisis de regresión lineal múltiple, determinando una función de predicción cuantificable en unidades ICUMSA para el color tanto para la etapa de concentración como para la cristalización.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo disminuir la variabilidad del color de la panela granulada en la industria panelera “El valle”?

## **1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### ***1.3.1 OBJETIVO GENERAL:***

Evaluar la influencia de los parámetros operacionales de la etapa de concentración y cristalización en el color de la panela.

### ***1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO:***

1. Caracterizar la materia prima que entra a la etapa de concentración y cristalización en cuanto a sus parámetros físicos y químicos.
2. Determinar la influencia de los parámetros operacionales en el color de la meladura en el proceso de concentración.
3. Determinar la influencia de los parámetros operacionales en el color de la panela granulada en el proceso de cristalización.

## CAPITULO II

### 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 ANTECEDENTES.

La panela en el Ecuador es un producto procedente de la caña de azúcar, se considera que es un producto obtenido de la evaporación de jugos de caña aumentando su concentración, en el caso de panela solida el uso de moldes su forma es variada, la panela también posee presentación granulada, cada una posee sus diferentes normativas de cumplimiento para su circulación, aquellas que se consideran defectuosas se evita la salida al mercado (Rodriguez, Garcia, Roa, y Santacoloma, 2004).

El jugo de caña posee diferentes compuestos y componente que pueden ser identificados en la tabla 1, los cuales influyen en los atributos de calidad al ser procesado (Badui Dergal, 2016).

Tabla 1. Composición del jugo de caña

<b>Componentes</b>	<b>Valor</b>
Agua, %	75-88
Azucares, %	11-21
Sacarosa, %	10-20
Glucosa, %	2-4
Fructosa, %	2-4
Sales, mg/100g	1-3,0
Ácidos orgánicos libres, mg/100g	1,5-5,5
Carboxílicos, mg/100g	1,1-3,0
Aminoácidos, mg/100g	0,5-2,5
Componentes orgánicos menores	
Proteínas, %	0,5-0,6
Almidón, %	0,001-0,05
Gomas, %	0,3-0,6
Cera, grasas, fosfáticos, %	0,5-0,15
Otros, %	3,0-5,0

**Fuente: (Guaman, Guaman, y Villavicencio, 2009).**

La composición de la caña de azúcar es tomada en cuenta para el desarrollo de la tecnológica para el procesamiento o la transformación según sea requerido, para el procesamiento óptimo o eficiente (Badui, 2016).

Los atributos como el pH y los grados °Brix medidos en dos variedades de caña en la región amazónica demostraron que oscilan en valores 5,8 a 6 en pH los °Brix en 16-17

dando como resultado final un rendimiento de 12,53 a 15, 56 % de producto final como la panela (J. González et al., 2016).

La fructosa presenta otras características a diferencia de la sacarosa, la más relevante es que es más dulce, así lo demuestra la Figura 1, donde se compara el poder edulcorante y la influencia que tiene la temperatura (Badui, 2016).

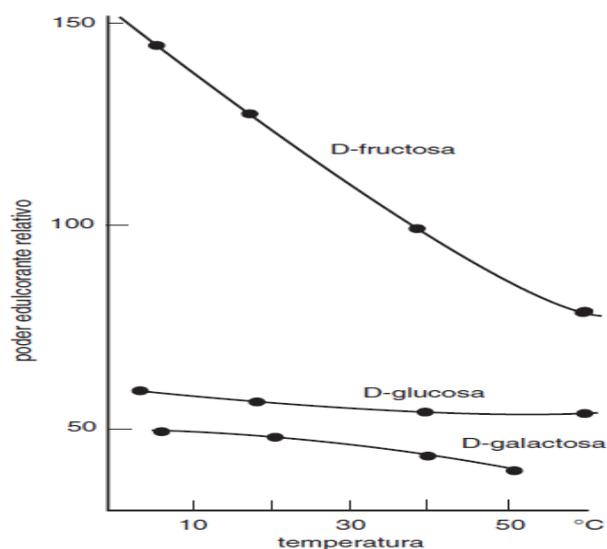


Figura 1. Efecto de la temperatura sobre el poder edulcorante relativo de varios azúcares.

Fuente: (Badui, 2016).

La percepción de los azúcares y de otras moléculas o conocida también como la percepción de la dulzura, describe la relación que posee los átomos de un compuesto dulce son electronegativos A y B, puede formar una estructura similar en las papilas gustativas, ocasionando la sensación de dulzura en la boca debido a los enlaces de puente de hidrogeno (Badui, 2016).

Otro compuesto existente como el polisacárido, en su mayoría compuesto por almidón, presente en los tallos de la caña tiene la característica de alta solubilidad en temperaturas altas (Osorio, 2007).

La tecnología desarrollada a logrado un eficiente trabajo en los diferentes campos de experimentales con la caña de azúcar, ha creado equipos óptimos, la mayor parte de energía generada es recupera como en los ingenios azucareros. El resultado puede ser resumido en automatización y reducción en los costos (Badui, 2016).

La calidad de la panela toma en cuenta varios factores según sea su lugar de procedencia o normativa vigente, la panela se caracteriza por ser un producto que en su mayor parte producido en trapiches y pailas de concentración conservando la mayoría de sus mineral de la materia prima que es la caña (R. M. Galicia, Hernández, Velasco, y Hidarlgo, 2017).

Los atributos son tomados en cuenta también por los intermediarios o comerciantes que dependen de este negocio, clasificando en el caso de la panela solida los atributos sensoriales como el color y la consistencia dando un mayor o disminuyéndolo según sea el caso (R. M. Galicia et al., 2017)

El abanico colorimétrico para los edulcorantes tiene una amplia gama de colores como se muestra en la Figura 2, para la clasificación no solo de panela también de mieles hidrolizas, azúcar natural. El abanico presenta los colores que se han presentado en los productos (Moreno et al., 2016).

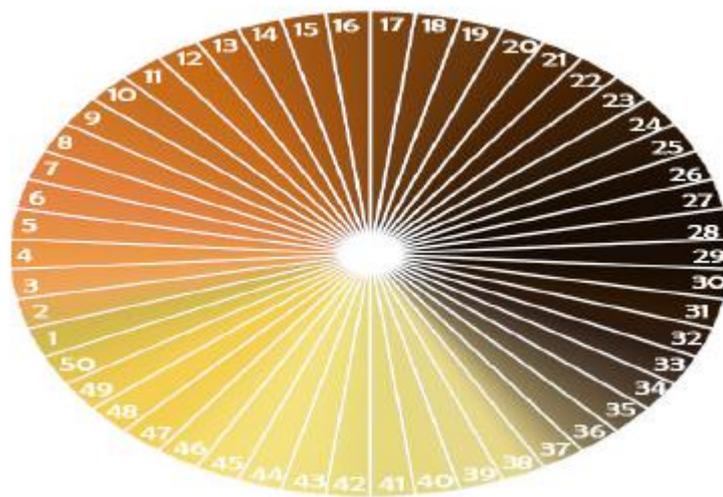


Figura 2. Abanico colorimétrico para la determinación del color en los edulcorantes.

Fuente: (Moreno et al., 2016).

El atributo como el color tiene una relación con los carbohidratos como parte de ellos también la viscosidad el sabor e incluso la estructura, uno de los carbohidratos más conocidos es la glucosa. La caña de azúcar tiene un alto contenido de sacarosa el cual está compuesto por glucosa cuyo carbono aldehído se une al cetónico de la fructosa (Moreno et al., 2016).

El color y el olor son características que se pueden ver alteradas si parte de la estructura es glucosa, como el caso de disacáridos y que pueden ser hidrolizados al usar ácidos

fuertes o temperaturas altas, o se da el caso de los monosacáridos que se deshidratan (Badui, 2016).

El sabor atributo de calidad tomado en cuenta en muchos de los casos, en la panela se lo pude relacionar sea a la concentración de sacarosa que posee. Diferentes compuestos presentes tanto en la caña como en el producto como la panela puede favorecer o perjudicar el sabor entre ellos la sacarosa, la fructosa cada una puede afectar de manera diferente no solo al atributo del sabor (Badui, 2016).

La característica del sabor no solo se relaciona a la cadena de hidratos de carbono, también se ve influenciada por las proteínas, las proteínas que están presentes en la caña de azúcar tienen propiedades como la propiedad de superficie que puede ligar grasas y sabores tanto como la emulsificación y el espumado (Badui, 2016).

El mecanismo del sabor relacionado con las proteínas depende también del contenido de humedad, la humedad es uno de los mecanismos para la unión del sabor a las proteínas, esta interacción mayormente son no covalentes (Badui, 2016).

La temperatura tiene poco efecto al unir sabores con la proteína, la principal causa se da en la asociación es impulsada por entropía y no por entalpia (Badui, 2016).

El sabor puede verse afectado incluso por el pH la unión del sabor a las proteínas se ve afectado favoreciendo sabores de pH alcalino a diferencia de los ácidos se debe a que la proteína se desnaturaliza más fácilmente en medio alcalinos (Badui, 2016).

La mayor parte de la producción de la panela depende de procesos no estandarizados dando como resultado un producto con calidad variable, la calidad de la panela es medible por medio de diversos factores entre ellos podemos destacar, la temperatura de punteo usando como unidad de medida la escala colorimétrica, la variedad de la caña también posee un nivel de influencia referente al color (Moreno et al., 2016).

En el Ecuador se toma en cuenta los atributos de calidad para la panela granula como menciona la normativa 2332 del año 2002, que no debe contener colorantes artificiales, debe estar libre de impurezas y se tolera un máximo de 0,1% de materias inorgánicas (INEN, 2002).

Dentro de la normativa que rige en Ecuador está el color, el pH, y la humedad de la panela. Cada uno de ellos con su método de ensayo para su verificación y aprobación del mismo,

en algunos de los casos se debe desechar el producto o reprocesar para su comercialización (INEN, 2002).

La aplicación de buenas prácticas de manufactura ha comprobado que mejora la calidad de un producto como la panela, a diferencia de métodos tradicionales, esto ayuda al producto para que tenga una mejor categorización (J. González et al., 2016).

Los atributos de calidad de la panela son tomados en cuenta tanto para la comercialización local como la internacional en el caso de las grandes industrias. Al poseer mayores recursos las industrias dedican tiempo y capital para analizar la rentabilidad y viabilidad de comercialización como el caso de la empresa CEPRESA (Sandoval , Jara , y Jiménez, 2018).

La comercialización del producto es facilitada al poseer calidad que el producto este correctamente estandarizado para lograr una negociación beneficiosa sin descuidar información relacionada a la producción, la capacidad que se posee (Sandoval et al., 2018).

La cadena operativa descrita de manera general que puede ser relacionada a la calidad de la panela inicia en los proveedores, cultivadores, procesadores, comercializadores y finaliza en los clientes (Useda y Guzmán 2016).

## **2.2. TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE PANELA.**

La producción de panela es un proceso que parte desde el campo enfocado en la transformación de la caña de azúcar, por ello es un producto que requiere de un proceso tecnológico y de labores de cultivo para su elaboración las características pueden variar en el producto final como su calidad (García, Albarracín, Toscano , Santana, y Insuasty, 2007)

La producción artesanal del producto está limitada y resulta ineficiente, podemos denotar que existe trapiches impulsados por fuerza animal en casos extremos de producción de panela, la mayoría de las pequeñas industrias poseen un trapiche impulsado por un motor diésel, donde el operario debe poseer un amplio conocimiento experimental no fundamentado de la producción, la producción es discontinua (García et al., 2007).

Las características más notorias en la producción artesanal es la carencia de control en los parámetros operacionales, uso limitado de tecnología, instrumentos básicos pailas, no

existe cuantificación de la materia entrante ni la que se obtiene en algunos casos, por ello el cliente relaciona como producto de baja calidad y bajo costo (Useda y Guzmán 2016).

La producción industrial de panela en Colombia ha demostrado que existen tecnologías aplicables y eficiente para la producción, el como el uso de evaporadores cerrados, en donde existe un aprovechamiento del vapor producido en la caldera, facilitan una producción continua, existe otro tipo de tecnología aplicable en la evaporación que son evaporadores de triple efecto (Arredondo, Janna, y Santamaría, 2004).

Este tipo de producción requiere de una mayor inversión, posee características operacionales mínimas para su funcionamiento, lo cual dificulta el acceso a pequeños productores que carecen de la economía (García et al., 2007).

### ***2.2.1. PARÁMETROS OPERACIONALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PANELA.***

Los parámetros operacionales son de importancia en muchas áreas, países como Colombia financia proyectos los cuales ayuden a la modelación matemáticas de los procesos energéticos y exegéticos para la producción de panela. El estudio de los parámetros, facilita el análisis de los procesos unitarios del procesamiento de la caña de azúcar para la obtención de panela, con esta evaluación se puede mejorar o controlar las fases de producción (Useda y Guzmán 2016).

El inicio de la explotación de la caña de azúcar por medio de procesos mecánicos fue una práctica de la India y el Sur de Asia. La utilización de molinos inicia en el continente americano facilitando la extracción del jugo, hasta la actualidad se busca la optimización de los molinos para maximizar la extracción de sacarosa, minimizando los costó que genera el mantenimiento y el consumo de energía (Useda y Guzmán 2016).

La producción de panela sigue una serie de pasos o procesos los cuales en su mayoría están normados, descritos bajo diferentes criterios. Para lograr un producto estándar uso eficiente de las materias primas y tecnológicas que posee cada uno de los diferentes productores, como lo indica la Figura 3 (Osorio, 2007).

La producción a gran escala la caña se almacena para poseer suficiente materia prima para la producción nocturno y la continuidad del proceso utilizando eficientemente el talento humano al ser los mismos trabajadores de corte y alce los operarios de la molienda (Rodriguez et al., 2004).

Los parámetros operacionales para la producción de panela en los procesos de concentración y cristalización tienen diferentes factores tomados en cuenta. La concentración debe tomar en cuenta la eficiencia térmica de las hornillas en las paneleras, ya que la energía es obtenida a partir de biomasa la cantidad suministrada se calcula en su mayoría son de manera empírica (Useda y Guzmán 2016).

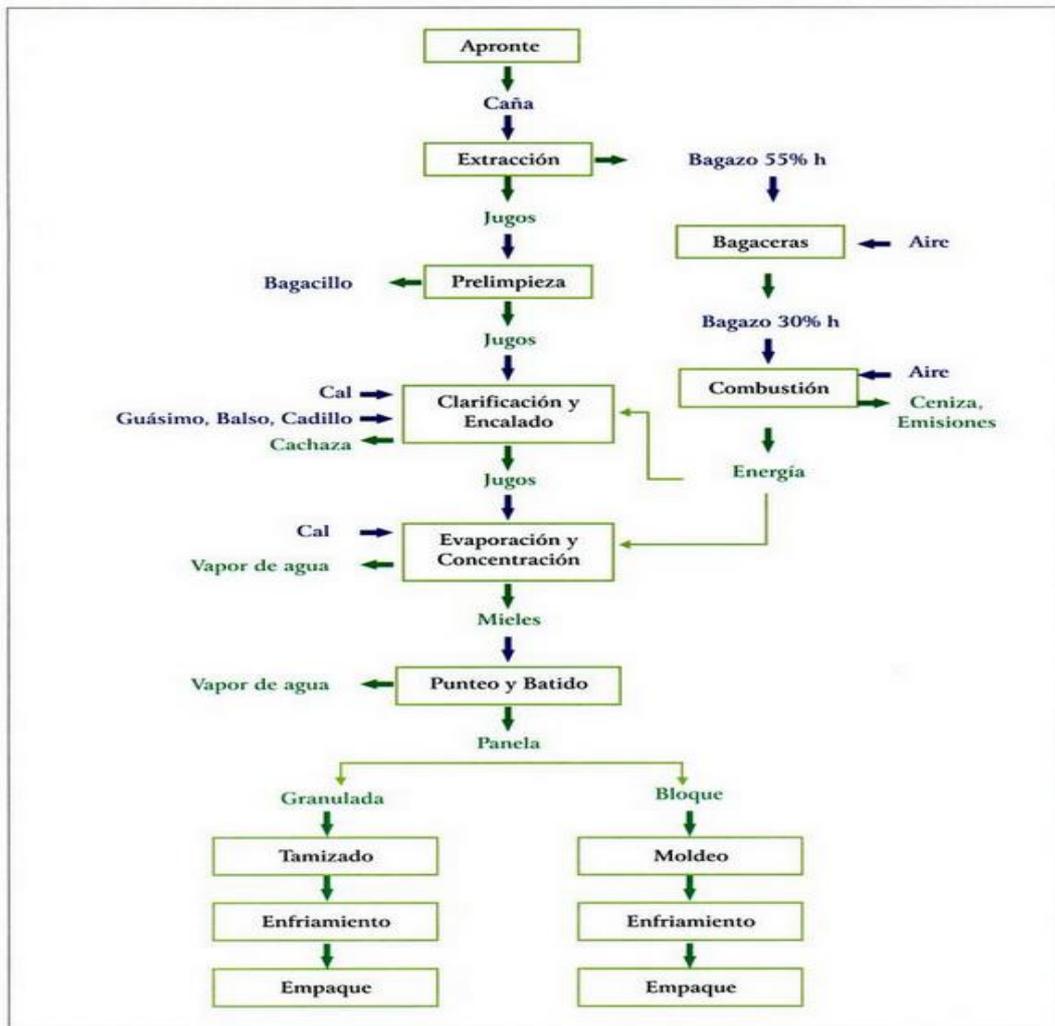


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso tecnológico de producción de panela.

Fuente: (García et al., 2007).

El área de apronte de la caña se estima en relación al volumen suficiente para que el trapiche logre una operación continua, esta área es recomendable que se encuentre cubierta con piso de cemento, esto fundamentalmente por el deterioro de la calidad que influye directamente en la panela y la seguridad industrial de los trabajadores del molino. Esta área debe estar más alta que el trapiche facilitando el transporte (Osorio, 2007)

La primera operación de molienda de caña, obteniendo jugos y residuos denominados bagazo verde según sea el grado de extracción que oscila entre el 50 al 60%. En general se conocen 2 métodos que se utilizan para la obtención de jugo la difusión y la compresión. La difusión es más conocida en la obtención de azúcar de remolacha. La compresión conocida tanto por la industria azucarera y panelera es un sistema antiguo basado en la trituración de rocas (Osorio, 2007).

La eficiencia de esta etapa esta relaciona a las masas y uno de los mayores problemas que presenta esta operación es el desgaste de las masas pues existe en el ámbito mecánico el roce entre piezas y la presión hidráulica, también hay que mencionar que el jugo de caña es corrosivo con el material (Useda y Guzmán 2016)

En buen funcionamiento del molino radica en el cuidado y uso correcto como limpieza, mantenimiento, se recomienda que el área sea ventilada los gases generados deben ser evacuados del proceso (Osorio, 2007).

La elección de los molinos tiene relación a varios factores incluidos a los parámetros operacionales, también podemos encontrar relación con el periodo vegetativo, los sólidos del jugo, la cachaza producida, entre otras sin olvidar las variables básicas de diseño y desempeño como la extracción en peso y el consumo de potencia (García et al., 2007).

En el proceso los jugos entran con impurezas que no ayudan al carácter nutricional, sin embargo, influyen en la calidad del producto final, existen varios métodos que se podrían utilizar para la limpieza, como la filtración, decantación, flotación, medios térmicos y medios químicos (Osorio, 2007).

En esta etapa del proceso se procede a realizar un filtración, el filtro debe ser lavado en varias ocasiones durante la producción para garantizar salubridad en la panela además del correcto funcionamiento del sistema, en la producción artesanal se utiliza tuberías y decantadores que varían de diseño o forma pero con la misma función que es separación por decantación y flotación (Suárez et al., 2017).

Las pailas pueden ser clasificadas de manera teórica y comparadas a los procesos de ingenios azucareros en donde la primera etapa es conocida como los precalentadores en algunas paneleras la utilizan para regular el pH del jugo, se debe a que la oportuna adición de los reguladores afecta a la calidad, en características como el color, los azúcares reductores y el grano (Ramírez et al., 2017).

La evaporación se considera la transferencia térmica al jugo por medio de pailas o hornillas estas obtienen la energía ya sea de combustión o bagazo depende del diseño del horno, industrias ya se ve observa la utilización de calderas (Osorio, 2007).

El horno en su mayoría suele ser alimentado con leña, desperdiciando uno de los recursos que es el bagazo pues el alto contenido de humedad dificulta el uso directo requiriendo más energía, en otros casos se usa tecnología de baja temperatura y baja potencia para dar un tratamiento térmico al bagazo disminuyendo su contenido de humedad, se debe tomar en cuenta factores como el tamaño de la fibra para la aplicación de la tecnología (Vidales y Peña, 2019).

La tecnología utilizada en el proceso de evaporación concentración, punteo o cristalización se considera obsoleta, en referencia al diseño mantenimiento y operaciones realizadas, se debe al proceso discontinuo en la fabricación artesanal. La aplicación de unidades agroindustriales para una producción continua, eficiente y limpia ayuda a la generación de ingresos no obstante requiere de una mayor inversión (Prada , García , et al., 2015).

Las temperaturas alcanzadas en la cámara de combustión en la producción de panela tradicional oscilan entre 650 a 850°C, el pH del jugo entrante al proceso de evaporación aumenta entre un pH de 5,5 a un pH de 6,4 en miles y panela se debe al proceso de encalado que por lo general se usa óxido del calcio (Useda y Guzmán 2016).

Las cámaras de combustión utilizadas, resulta una pérdida de energía para los productores, existe gases expulsados por la chimenea, tampoco se logra capturar el calor residual de al interior del ducto de los gases, se resume que el calor perdido alcanza hasta el 41% (Useda y Guzmán 2016).

Uno de los parámetros como la presión puede ser controlado de manera tecnológica influyen de manera directa en los sólidos solubles, un presurizado no es beneficioso para la producción de panela aumenta la inversión de la sacarosa dificulta la solidificación de la panela, un sistema de vacío para la producción aumenta los valores de sacarosa y disminuye los valores de azúcares reductores aumentando la firmeza de la panela (Prada , García , et al., 2015)

El proceso de producción continua con el llamo punteo, en la mayor parte de elaboración artesanal se analiza de forma visual el producto para proceder al batido, los operarios

poseen un trozo de madera con el cual toma una pequeña muestra de las mieles concentrada la sumergen en agua fría y evalúan firmeza según los resultados obtenidos el jugo concentrado pasa o no al siguiente proceso (Osorio, 2007).

En el caso de que no cumpla con las características deseadas, mantienen el jugo concentrado en la paila esperando que cumpla los requisitos, la experiencia del operario es de vital importancia en el proceso si carece de experiencia el jugo concentrado puede llegar a quemarse y dañar una característica como sabor del lote producido (Osorio, 2007).

El área final de producción requiere de mucho más control por parte de los productores se debe a que puede generar un foco de contaminación, se regula las instalaciones sanitarias, tanto como las de almacenamiento como bodega, estas deben estar relacionadas con la capacidad de producción y salida del producto (Osorio, 2007).

La panela como producto final posee características que pueden disminuir su tiempo de vida útil si no se lleva a cabo un correcto almacenamiento, pues posee un atributo higroscópico, es decir que absorberá humedad del medio en el que se encuentre (Osorio, 2007).

La panela si llega a absorber humedad del medio se alterarán las características como la firmeza, se ablandará, el color también se verá afectado aumentará la presencia de azúcares reductores y disminuirá la cantidad de sacarosa. En general para que la panela conserve sus características de calidad, debe estar en lugares frescos y secos con baja humedad, a partir del 10% de humedad existe el riesgo de invasión microbiana y alteraciones fisicoquímicas (Osorio, 2007).

## **2.3 FENOMENOS QUE OCURREN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA.**

### **2.3.1 CONCENTRACIÓN DE LA MELADURA**

La panela es clasificada como un edulcorante que es obtenido a partir de la concentración de jugo de caña a altas temperaturas finalizando en una melaza densa, presentada en forma de moldes según sea la región. La panela se considera una fuente de energía por su contenido de azúcares reductores aproximadamente entre el 6% y el 15 %, los cuales el organismo metaboliza fácilmente además del su alto contenido nutricional (Rodríguez et al., 2004).

La concentración del jugo al ser una sustancia azucarada, presenta una variación de color, esta reacción es conocida como caramelización en donde esta influencia por la temperatura y el pH, tiene un diferente comportamiento por la actividad de agua a una reacción similar conocida como la reacción de Maillard (N. Díaz y Clotet, 1995).

La concentración presenta otro fenómeno como la reacción de Maillard se debe al medio ya que la temperatura favorece a este tipo de reacción, en general se combinan los azúcares reductores con compuestos del grupo amino, que generan compuestos aromáticos, en general se resume que la reacción de Maillard con ayuda de temperatura se combina con biomoléculas (Rossi, 2007).

El color también se ve relacionado por combinación con otras sustancias como los grupos polifenoles o amino compuestos, los polifenoles reaccionando con el oxígeno y el hierro dando un color oscuro cuando la solución es alcalina, los amino compuestos reaccionan con los azúcares reductores (Osorio, 2007).

La caramelización de la sacarosa es una reacción de oscurecimiento ocasionado por que los azúcares son elevados arriba de su punto de fusión, esta reacción se genera tanto en medios de pH ácido y alcalino, durante este proceso se sintetizan compuestos de bajo peso molecular.

En la caramelización se absorbe energía radiante por medio de doble ligaduras conjugadas el resultado es la producción de color (Badui, 2016)

La reacción de Maillard es conocida como la reacción de oscurecimiento en la cual se transforman muchos compuestos y colores, se tiene el caso que va desde el amarillo claro hasta el café oscuro e incluso el negro generado por ciertas melanoidinas (Badui, 2016).

La reacción de Maillard afecta a otros factores como el sabor, el valor nutritivo e incluso el aroma. Los resultados de la formación de compuestos mágatenos al reaccionar un azúcar reductor y un grupo amino libre es altamente cancerígenos como la acrilamida (Badui, 2016).

Entre los factores más relevantes que pueden afectar la reacción de Maillard, está el pH puede incrementar la velocidad de reacción al llegar un máximo de 10, en general en condiciones ácidas se inhibe la reacción, la temperatura es otro factor que puede acelerar la reacción usando un modelo de caseína-glucosa se obtiene una relación lineal entre temperatura de 0 a 90°C (Badui, 2016).

La actividad del agua puede afectar la reacción ya que se toma en cuenta la ley de acción de masas el agua ejerce una acción inhibitoria (Badui, 2016).

Los aminoácidos influyen en la reacción pues será más reactiva al incrementar el tamaño de la cadena, en el caso del sistema de gluco-aminoácido, la velocidad se aumenta con el grupo amino más alejado del carboxilo (Badui, 2016).

### **2.3.2 CRISTALIZACIÓN DE LA PANELA**

La cristalización de algunos disacáridos se presenta por al llegar a niveles de saturación, es la capacidad que poseen los azúcares este fenómeno es conocido como polimorfismo consiste en que el mismo compuesto puede cristalizar en diferentes formas (Badui, 2016).

La panela tiene la propiedad de higroscópica, en este proceso existe contacto con la humedad del aire absorbiéndola. Esta tiene una relación directa con la actividad del agua, se debe tomar en cuenta este tipo de propiedades que poseen cierto alimento ya que es el fundamento para elaborar los empaques contenedores o el proceso de conservación para evitar el deterioro y maximizar el tiempo de vida útil (Badui, 2016).

Las propiedades dieléctricas son funciones del contenido en humedad, de la temperatura, y de la composición del material. El aumento del contenido de humedad la rotación bipolar con lo que aumenta tanto la constante dieléctrica como el factor de pérdidas. El efecto del agua ligada sobre las propiedades dieléctricas se vuelve insignificante en presencia de agua libre. La dependencia de la temperatura de las propiedades dieléctricas depende de la presencia del contenido de humedad ligada y libre y del contenido de sal en los alimento (Badui, 2016).

El comportamiento de los azúcares varía según la humedad, unos tienen una mayor capacidad de absorber agua en presencia de humedad como muestra la Figura 4.

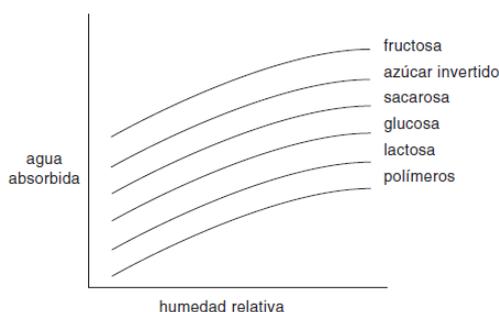


Figura 4. Absorción de agua de algunos azúcares respecto a la humedad relativa.

Fuente: (Badui, 2016).

## **2.4 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN MULTIPLE DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES Y DE CALIDAD.**

Los parámetros de calidad dentro de la industria alimentaria no se conocen completamente, se ha encontrado varios ajustes dentro de las diferentes industrias centrándose en las variables dependientes e independientes que puedan afectar al proceso y además sean manipulables para su corrección (A. González y Moralejo, 2007).

Las variables o datos de estudio deben ser clasificados según sea el objetivo propuesto, como parte de protocolo, por ello se debe tener claro cuál es la definición de las variables, en nuestro caso tenemos variables dependientes; es decir que tiene un resultado. Las variables independientes; son consideradas la relación en determinar resultados, es decir que poseen un nivel de influencia y pueden ser controladas (Villasís y Novales, 2016).

La correlación de datos utiliza muestras cuantitativas entre variables para ver si existe una relación de alguna manera, este método está fundamentado en el coeficiente de correlación lineal “r”, este valor puede ser calculado con ayuda de sistemas computacionales con el valor calculado podemos concluir si existe relación o no entre las variables (Triola y Lossi, 2013).

La regresión múltiple nos ayuda a expresar una ecuación en donde la variables repuesta depende de una o más variables, debido a lo complejo de los cálculo es preferible utilizar programas de cómputo estadístico, facilitando la interpretación al final del resultado del programa (Triola y Lossi, 2013).

El uso de *Statgraphic XVI* versión español el método de regresión lineal multivariable por mínimo cuadrado ordinarios, el método posee ventajas ya que el resultado será un sistema de ecuación lineal, otra de las ventajas del método es posible la utilización de programas computacionales (Valle M. y Guerra B., 2012).

El análisis de correlación es propuesto por Charles Edward Spearman, desarrollo una técnica dentro del campo de la estadística conocido como el análisis factorial. El aporte de un coeficiente correlación ordinal que permite correlaciona variables a diferencia de medir su valor por separado (P. Díaz y Fernández, 2001).

Dentro del campo existen funciones que pueden ser positivas o negativas esto es el resultado que vincula las variables, en caso de que sea nula no existe otra explicación que no está correlacionadas. La correlación esta medida por el coeficiente de correlación estadísticamente comprende valores de -1 y 1 (P. Díaz y Fernández, 2001)

La regresión lineal múltiple es un método en donde se establece relación entre variable dependiente  $Y$ , y otras variables o conjunto de variables descritas como independientes como  $X_1, X_2... X_n$  este método tiene como finalidad buscar cuales son las variables explicativas lo primero en este método es analizar los criterios de entrada y salida, en cada paso se valora la bondad de ajuste (Maria. J. J. Rodríguez y Mora Catalá, 2001).

La bondad de ajuste conocido como  $R$ ,  $R^2$ ,  $R^2$ -ajustado, en donde  $P$  valor representa el nivel de significancia los programas computacionales lo tienen por defecto en 0.05 y para su interpretación esta la función  $H_0$  que depende a nuestro criterio u objetivo establecido (Maria. J. J. Rodríguez y Mora Catalá, 2001).

El coeficiente  $R^2$  o conocido también como el coeficiente de determinación mide la proporción en porcentaje de la variable dependiente con las admitidas en el modelo como variables independientes, el resultado expresa la estimación relativa al medir la variable dependiente. El coeficiente ajustado o  $R^2$ -ajustado mide lo mismo, pero en este caso no está influenciado por las variables que hayan introducido (M. J. J. Rodríguez y Mora 2001).

## CAPITULO III

### 3 METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Localización

El presente proyecto de investigación se desarrollará en la Universidad Estatal Amazónica ubicada en el km 2<sup>1/2</sup> vía al Tena, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza, se ubica en la región amazónica ecuatoriana (RAE), entre las coordenadas 1°-10' latitud sur y 78°-10' longitud oeste y 2°-35' latitud sur y 76°-40' longitud oeste. Cuenta con una superficie de 29,773 km<sup>2</sup>.

La pequeña industria panelera se ubica en la parroquia Tarqui del Cantón Puyo provincia de Pastaza, para la obtención de materias primas para la experimentación y recolección de datos.

#### 3.2 Tipo de investigación

Para desarrollar la investigación se realizará búsqueda de datos tanto a nivel nacional he internacional, referente a la producción y comercialización de panela. Los parámetros establecidos por las organizaciones reguladoras, la influencia de las tecnologías utilizadas para la mejora de la calidad del producto final. Los métodos utilizados para la medición del color en la panela.

Las muestras serán tomadas en campo, se establecieron como variables dependientes el color en la concentración y color final en la cristalización. Las variables independientes para la concentración fueron; tiempo de concentración, temperatura, pH. Las variables en la etapa de cristalización fueron; color inicial, temperatura, pH, tiempo de agitación.

La investigación es de carácter explorativo, descriptivo y experimental, las bases del proyecto recopilan información de publicaciones y fuentes bibliográficas como: libros, artículos de revistas, artículos científicos, entre otros, los cuales brinda la información para el desarrollo experimental referente a las etapas de clarificación y cristalización de la panela como parámetros influyentes del color.

Recalcando que existe déficit en la información relacionada al color de la panela con los parámetros operacionales durante la evaporación y cristalización en producciones artesanales, el desarrollo del proyecto beneficiara a los pequeños productores de panela en la Provincia de Pastaza.

### **3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y ANALISIS EN LABORATORIO**

Las muestras son tomadas en la cuarta paila de concentración, en el momento de iniciar el proceso se mide la temperatura inicial, y final, se midió el tiempo que tardo el proceso, el pH se mide en laboratorio al igual que el color inicial.

Las muestras para la cristalización son del mismo lote que el de concentración, esta muestra es sometida a agitación para simular el trabajo realizado por el operario, se midió el tiempo que tarda la agitación, la temperatura inicial y final en campo, el pH y color se midieron en laboratorio.

Se utilizaron; un pHmetro digital, pistola de temperatura, papel filtro de 1.2um, filtro membrana de 0.45um, bomba, baño ultrasónico, refractómetro digital, espectrofotómetro, vaso de precipitación, matraz aforado a 100 mL.

Las muestras fueron tomadas al azar durante la producción, si las muestras no son aleatorias y cuantitativas se puede llegar a un resultado voluntario, siendo un método inapropiado. Las muestras de datos apareados se puede calcular el coeficiente de correlación para satisfacer la hipótesis (Triola y Lossi, 2013).

Los análisis de laboratorio seguirán normativas como la norma mexicana 526 para medir el color ICUMSA, para la medición de pH se tiene la norma mexicana 266, teniendo claro las normas, los materiales requeridos para la valoración de las muestras analizamos y registramos los valores obtenidos (L. Galicia et al., 2012).

### **3.4 FUENTES DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La información obtenida se clasifica en primaria y secundaria

#### **1.-Fuente primaria:**

Trabajo de campo-recolección directa de las muestras en la etapa de concentración y cristalización.

#### **2.-Fuente secundaria:**

Libros, tesis, normas técnicas, artículos científicos, documentos entre otros.

## **3.5. METODOLOGÍA APLICADA PARA EL ANALISIS DE LABORATORIO Y LA RECOLECCION DE DATOS**

### ***3.5.1. Caracterización de la melaza***

Se tomaron 10 muestras al azar de melaza durante la producción de la industria panelera el valle. Se tomaron en cuenta el tiempo en se tarda la concentración. La determinación de la influencia de los parámetros operacionales en el proceso de concentración será obtenida por medio de un registro de las características en condiciones normales de producción, se procederá a aplicar las variantes descritas bibliográficamente para obtener resultados diferentes y controlados según se requiera (Triola y Lossi, 2013).

Para la caracterización del producto que entra al proceso de concentración, está enfocado a análisis fisicoquímicos entre ellos se determinara el pH, el color y el tiempo que demora en concentrarse la melaza para verificar la variación existente. La temperatura se registrada con el termómetro al momento de tomar la muestra (L. Galicia et al., 2012).

#### ***3.5.1.1 Caracterización de los parámetros químicos de la melaza***

##### **Determinación del pH**

Se tomaron muestras en campo de la producción de la industria panelera el valle. El procedimiento para el pH es un muestra homogénea que tiene que ser aproximadamente 100ml en un vaso de precipitación, se debe tomar en cuenta la temperatura para realizar los ajustes del potenciómetro, el instrumento debe llegar al equilibrio aproximadamente en 1 minuto y se registrara la lectura (Norma Mexicana, 2012a).

El equipo debe estar calibrado, para la calibración del equipo se requiere de buffer o soluciones reguladora de pH 4.0 y 7.0, en dependencia del equipo es recomendable utilizar un vaso de 250cm<sup>3</sup> en el cual se coloca 150cm<sup>3</sup> de la solución reguladora, realizar el mismo procedimiento con la solución de pH 4.0 y 7.0 (Norma Mexicana, 2012a).

El equipo que se utilizara para la medición del pH digital multiparámetros de marca APERA modelo PC60, de presión digito  $\pm 0.01$ , pH  $\pm 1$ , con compensación automática de temperatura de 0-50°C.

##### **Determinación de los °Brix**

Se tomaron muestra durante la producción de panela en la industria panelera el valle. Los °Brix serán medidos con ayuda de un refractómetro, las muestras serán tomadas en campo

durante la producción de la industria panelera el valle, se toma una pequeña porción y se pone en el prisma se cierra el prisma, y se procede a observar la lectura con una fuente de luz (Valero Ubierna y Ruiz-Altisent, 1998).

### *3.5.1.2 Caracterización de los parámetros físicos de la melaza*

#### **Determinación del color**

Se tomaron muestras de la producción de la industria panelera el valle, las muestras serán llevadas al laboratorio de Universidad Estatal Amazónica, para seguir con el procedimiento con el equipo de espectrofotometría. La determinación del color de la meladura se utilizará en la normativa mexicana ICUMSA, para lo cual se requiere agua destilada, para ajustar la solución hasta 7 su pH, pasara la medición del color ajustado a la espectrofotométrica usando una celda de longitud de 420 nm finalmente se realiza un ajuste (Norma Mexicana, 2012b).

#### **Determinación del tiempo**

Se registra la hora en que inicia el proceso es decir la entrada del jugo a concentrar, nuevamente se registra la hora al salir de la etapa, con los datos se tiene el tiempo que ha permanecido el fluido.

#### **Determinación de la temperatura**

La temperatura se midió con la pistola de temperatura al momento de entrar el fluido y salir de la etapa de concentración.

### *3.5.2 Caracterización de la cristalización*

La influencia de los parámetros operacionales en el proceso de cristalización fue obtenida por medio de un registro de las características en la producción normal de la industria, donde a muestras determinadas se realizarán los cambios recomendados bibliográficamente, obteniendo o no resultados deseados.

La cristalización se analizará parámetros operacionales como el pH, el color inicial de la meladura, el tiempo de batido, las revoluciones que se utilizarán esta limitadas por el equipo tratando de simular el trabajo del operario, finalmente el color final del proceso antes del empaclado (Guaman et al., 2009).

### *3.5.2.1 Caracterización de los parámetros químicos de la cristalización*

#### **Determinación del pH**

Se tomaron muestras de la producción de panela en la industria panelera el valle. En el caso para la medición del pH no se tiene una normativa en el Ecuador para la meladura, se usará lo recomendado por la normativa mexicana, para lo cual se requiere sustancias reguladoras de pH de 4, 7 y 10 con verificación, se calibra el equipo en un envase de 250ml se vierte 150ml de los reguladores se deja la lectura por 1 minuto, en caso de que el potenciómetro no ajuste la temperatura usar un termómetro y el ajuste correspondiente el valor directo del potenciómetro corresponde al valor de pH (Norma Mexicana, 2012a).

La muestra debe ser preparada antes de ser sumergida en el electrodo, para ello se requiere una balanza analítica, y un vaso de 150cm<sup>3</sup>, hacer una solución de 50% de sólidos, se pesa 50gr. de melaza concentrada disolvemos con agua destilada agitamos se trasfiere la muestra a un matraz aforado de 100 mL completamos con agua destilada agitamos por unos minutos procedemos hacer la medición asegurándonos que se haya disuelto completamente la muestra (Norma Mexicana, 2012a).

### *3.5.1.2 Caracterización de los parámetros físicos de la cristalización*

#### **Determinación del color**

Se tomaron muestras en campo durante la producción de panela en la industria panelera el valle, las muestras se llevan al laboratorio donde se utiliza el equipo de espectrofotometría. La determinación del color de la panela se utilizará en la normativa mexicana ICUMSA, para lo cual se requiere agua destilada para la disolución de la muestra, el pH debe ser ajustado a 7 en caso de ser requerido se utiliza hidróxido de sodio a la 1N para subir o ácido sulfúrico para bajar, la muestra debe ser filtrada a través de una membrana de 0.45µm, se debe dejar reposar por 1 hora en un estufa al vacío o utilizar un baño ultrasónico durante 1 minuto a temperatura ambiente, pasar la muestra a la celda y medir del color con el espectrofotómetro usando longitud de 420 nm finalmente se registra la absorbancia (Norma Mexicana, 2012b).

#### **Determinación del tiempo de agitación**

El uso de un cronómetro o algún instrumento que nos permita medir el tiempo que se somete la muestra a agitación, desde el momento

## **Determinación de la temperatura**

La temperatura se midió con la pistola de temperatura al momento de entrar el fluido y salir de la etapa de concentración.

### ***3.5.3 Metodología aplicada a los datos recolectados.***

Los datos recolectados deben ser clasificados antes de usar programas computacionales como lo menciona el libro estadística de (Triola y Lossi, 2013). Las variables fueron clasificadas para ser usadas en análisis de regresión multivariado, teniendo la variable dependiente color en la etapa de concentración, variables independientes; tiempo de concentración, temperatura inicial, final, pH. La metodología es similar en la etapa de cristalización la variable dependiente fue el color final, variables independientes; color inicial, tiempo de agitación, pH, temperatura inicial y final.

Se utilizó el programa *Statgraphic XVI*, para analizar por el método multivariado, consecutivamente aplicar el método de regresión múltiple por mínimos cuadrados ordinarios. Obteniendo una correlación según sea el nivel de significancia, además de una función con constantes para la predicción de la variable dependiente en cada proceso (Maria. J. J. Rodríguez y Mora Catalá, 2001).

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

Los parámetros operacionales que influyen en la etapa de concentración son la temperatura inicial y el pH siendo significativos en el análisis estadístico. En la etapa de cristalización el color inicial es significativo durante la producción de panela granulada en la pequeña industria panelera “El Valle”. La regresión múltiple propone una función en cada etapa para la predicción del color y el color final respectivamente en concentración y cristalización con un alto nivel de significativo al 95% de confianza.

#### 4.1 Determinación de los parámetros operacionales y el color de la panela.

##### 4.1.1 DATOS MEDIDOS EN LA ETAPA DE CONCENTRACION DURANTE LA PRODUCCION DE PANELA GRANULADA

Los datos medidos en campo que son; temperatura inicial, temperatura final, tiempo de concentración, y los obtenidos en los análisis de laboratorio que fueron; pH y color ICUMSA, se transcribieron en la tabla 2 que facilita su visualización y uso en programas computacionales. El rango de color ICUMSA por la normativa mexicana es de 7000-13000 U.I. por la metodología utilizada para las mediciones, podemos observar en la tabla 2 las muestras D, E, F, G, están fuera de los rangos.

Tabla 2. Muestras y variables del proceso de concentración.

Muestra	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Tiempo de concentración (min)	pH	Color ICUMSA
A	85	122,4	125	5,90	8761,9
B	93	122	52	5,95	7650,79
C	87	119	77	5,84	8717,95
D	83	115	55	5,54	6539,12
E	75	120	64	5,36	5831,25
F	82	123	76	5,32	6488,10
G	87	113	45	5,25	6045,92
H	82	117	75	6,09	7753,82
I	69,7	118	118	6,15	7992,53
J	77,3	118	70	6,29	8375,85

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.2 DATOS MEDIDOS EN LA ETAPA DE CRISTALIZACION DURANTE LA PRODUCCION DE PANELA GRANULADA**

Los datos medidos en campo que son; temperatura inicial, temperatura final, tiempo de concentración, y los obtenidos en los análisis de laboratorio que fueron; pH y color ICUMSA, se transcribieron en la tabla 3 que facilita su visualización y uso en programas computacionales. El color final de la panela granulada medido en el rango ICUMSA propuesto por la normativa mexicana 7000-13000 U.I., podemos observar en la tabla 3 que las muestras D, E, F, G, están fueran del rango de la normativa.

Tabla 3. Muestras y variables en la etapa de cristalización.

Muestra	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Tiempo de agitación (min)	pH	Color inicial ICUMSA	Color final ICUMSA
A	122,4	65	2,30	5,90	8761,9	7980,60
B	122	67	2,15	5,95	7650,79	7115,38
C	119	72	1,45	5,84	8717,95	8366,01
D	115	76	1,50	5,54	6539,12	6080,59
E	120	74	1,45	5,36	5831,25	5943,22
F	123	69	1,50	5,32	6488,10	5822,10
G	113	70	2,07	5,25	6045,92	6059,76
H	117	70	2,10	6,09	7753,82	7340,52
I	118	69	2,5	6,15	7992,53	7488,33
J	118	70	2,35	6,29	8375,85	8025,69

Fuente: Elaboración propia

## **4.2 Influencia de las variables operacionales en el color de la panela.**

### **4.2.1 Influencia de las variables operacionales sobre el color en la etapa de concentración.**

El primer análisis fue multivariado para los datos de concentración por *Statgraphics XVI* versión español teniendo varios resultados, pero el que se enfoca en nuestro problema de construir un modelo para predecir un variable dados los valores de una o más variables, se realiza por regresión múltiple.

Los datos analizados en la regresión múltiple de las variables: Tiempo de concentración, pH, temperatura inicial, temperatura final como variables independientes, el color como variable dependiente. Finalizo en el análisis estadístico descrito en la tabla 4. Muestra que el pH y temperatura inicial son menores a 0.05 en el valor p demostrando que tienen una relación estadísticamente significativa con el color al 95% de confianza. Los parámetros más significativos se pueden inferir como la reacción dominante en el oscurecimiento de la panela, por medio de la caramelización por el pH óptimo y temperatura como lo menciona el libro química de los alimentos (Badui, 2016).

Tabla 4. Análisis de varianza de las variables de la etapa de concentración

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-p
Constante	-10679,6	6634,11	-1,6098	0,1684
pH	2069,52	458,852	4,5102	0,0063
Tiempo de concentración	20,0082	8,11189	2,46653	0,0568
Temperatura final	-8,79434	55,0305	-0,159808	0,8793
Temperatura inicial	69,2559	26,9113	2,57349	0,0498

Las constantes determinadas para la regresión son; -10679,6 constante general, 2069,52 constante para el pH, 20,082 constante del tiempo de concentración, -8,9434 constante de temperatura final, 69,2559 constante temperatura inicial, resultado la siguiente función para determinar el color:

$$\text{Color} = -10679,6 + 2069,52 * \text{pH} + 20,082 * \text{tiempo de concentracion} - 8,9434 * \text{temperatura final} + 69,2559 * \text{temperatura inicial}$$

El modelo determinado por *Statgraphics* presenta que el valor P es menor 0,05 lo cual es estadísticamente significativo a un nivel de 95% de confianza como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Análisis de varianza del modelo

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de liberta	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	9.89822*10 <sup>6</sup>	4	2,47455*10 <sup>6</sup>	11,79	0,0093
Residuo	1,04972*10 <sup>6</sup>	5	209944		
Total (Corr.)	1,09479*10 <sup>7</sup>	9			

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo ajustado explica 90,41% de la variabilidad en color. El estadístico  $R^2$ -ajustado, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 82,74%. El error estándar del estimado muestra que la desviación de los residuos es 458,196 color ICUMSA. El error absoluto medio (MAE) de 230,813 color ICUMSA es el valor promedio de los residuos.

El color observado fue comparado con el valor del color calculado o predicho con la función *Statgraphics* en la Figura 5. Se puede apreciar que ciertos valores salen de la línea de ajuste.

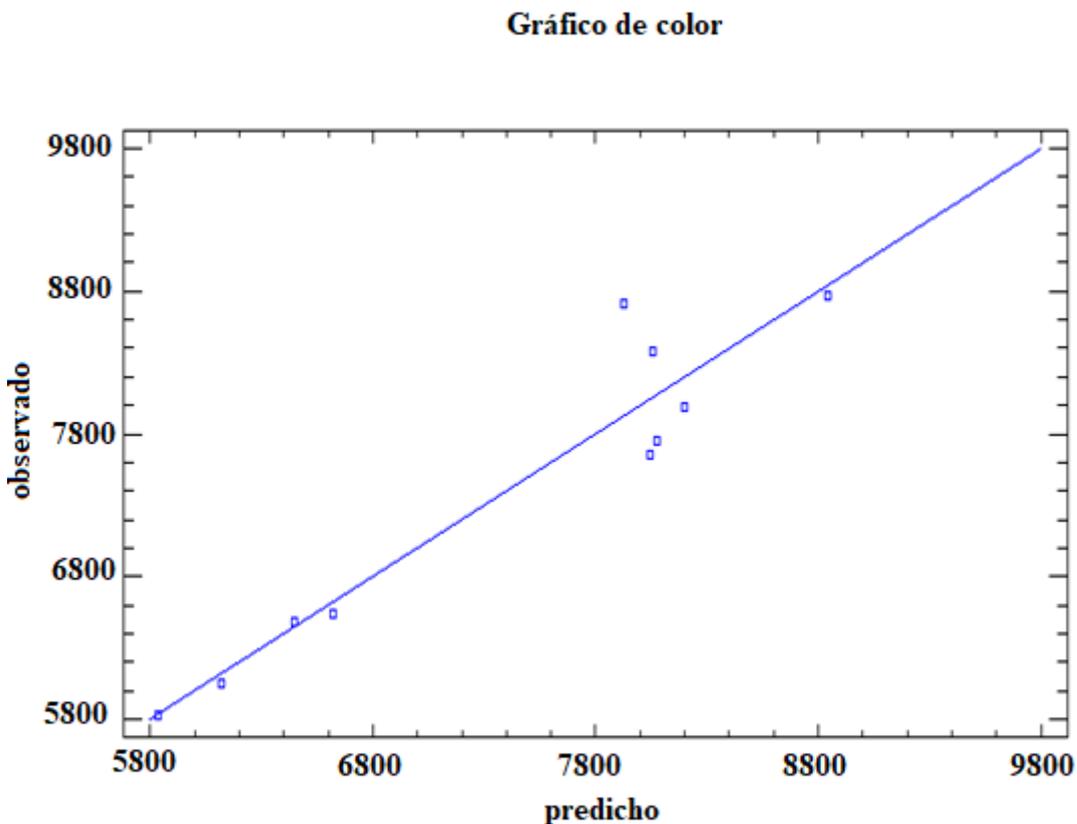


Figura 5. Grafico del color observado contra el predicho

Los resultados muestran como el pH es una variable importante durante la produccion de panela granulada, en otro estudio como diagnostico energetico de los procesos productivos de la panela en colombia (Arredondo et al., 2004), mencionan que la Cal requiere un monitoreo oportuno en cantidades exactas ya que influye de manera directa en características de calidad como el color.

La temperatura muestra los procesos normales que pasarían como lo menciona el libro química de los alimentos (Badui, 2016), la temperatura acelera los procesos de

catalización de caramelización y de oscurecimiento no enzimático en valores de pH cercanos al neutro el empardamiento se puede ir de un color amarillo ligero a café oscuro.

#### ***4.2.2 Influencia de las variables operacionales sobre el color final en la etapa de cristalización.***

El primer análisis realizado fue multivariado para los datos de cristalización por *Statgraphics XVI* versión español teniendo varios resultados, pero el que se enfoca en nuestro problema de construir un modelo para predecir un variable dados los valores de una o más variables, se realiza por regresión múltiple.

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple de las variables: Tiempo de rpm, pH, temperatura inicial, temperatura final y color inicial como variables independientes, se tomó el color final como variable dependiente. El resultado del análisis estadístico descrito en la tabla 6. Color inicial es menores a 0.05 en el valor P demostrando que tienen una relación estadísticamente significativa con el color final al 95% de confianza.

Tabla 6. Análisis de varianza de las variables de la etapa de cristalización

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-p
Constante	559,688	13075,1	0,0428057	0,9679
Color inicial	0,913911	0,246513	3,70736	0,0207
pH	-64,4582	961,152	-0,0670634	0,9497
Tiempo de agitación	124,853	882,738	0,141438	0,8944
Temperatura final	31,2631	106,815	0,292685	0,7843
Temperatura inicial	-20,039	62,5014	-0,320617	0,7646

Las constantes determinadas para la regresión son; 559,688 constante general, 0,913911 constante para el color inicial, -64,4582 constante del pH, 124,853 constante de tiempo de agitación, 31,2631 constante temperatura final, -20,039 constante temperatura inicial resultado la siguiente función para determinar el color final de la panela granulada:

$$\begin{aligned} \text{Color final} = & 559,688 + 0,913911 * \text{color inicial} - 64,4582 * \text{pH} + 124,853 \\ & * \text{tiempo de agitación} + 31,2631 * \text{temperatura final} - 20,039 \\ & * \text{temperatura inicial} \end{aligned}$$

El modelo determinado por *Statgraphics* presenta que el valor P es menor 0,05 lo cual es estadísticamente significativo a un nivel de 95% de confianza como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis de varianza de las variables de la etapa de cristalización

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	8,14221*10 <sup>6</sup>	5	1,62844*10 <sup>6</sup>	19,51	0,0065
Residuo	333784	4	83445,9		
Total (Corr.)	8,47599*10 <sup>6</sup>	9			

El estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo ajustado explica 96,06% de la variabilidad en color final. El estadístico R<sup>2</sup>-ajustado, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 91,13%. El error estándar del estimado muestra que la desviación de los residuos es 288,87 color ICUMSA. El error absoluto medio (MAE) de 147,349 color ICUMSA es el valor promedio de los residuos.

El color observado fue comparado con el valor del color calculado o predicho con la función *Statgraphics* en Figura 6. Se puede apreciar que los ciertos valores salen de la línea de ajuste.

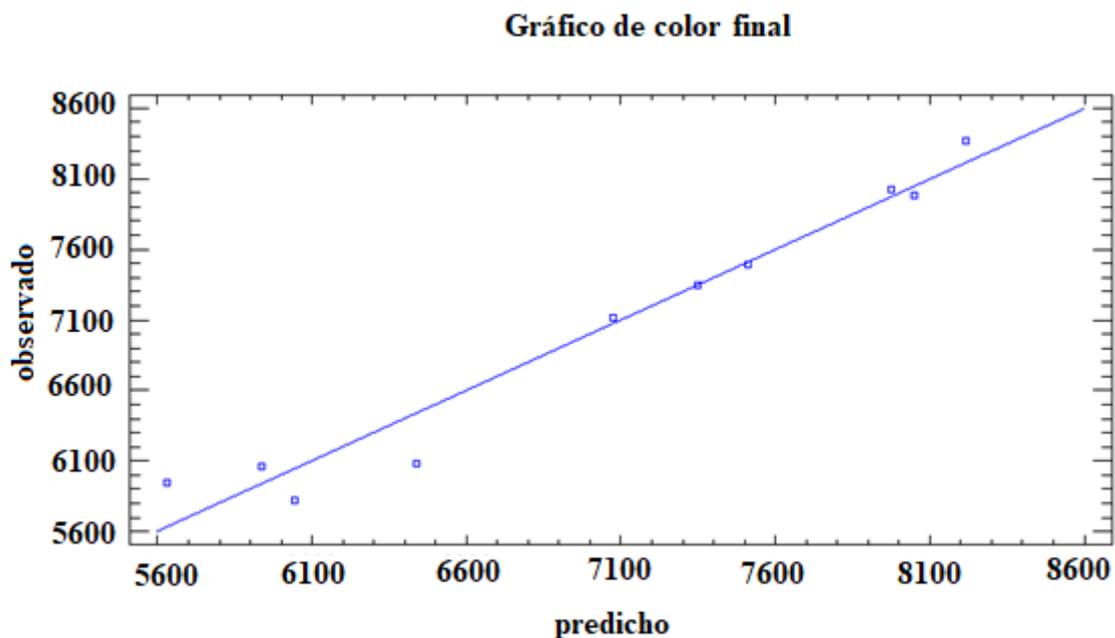


Figura 6. Grafico del color observado contra el predicho

## **CAPITULO V**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

1. Los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización influyen en el color de la panela granulada. El modelo de regresión lineal multivariado obtenido permite predecir este atributo de calidad tanto para la meladura como la panela granulada con un  $R^2$  82,74% y 91,13% respectivamente.
2. La caracterización la materia prima que entra al proceso de concentración evidencia la gran variabilidad existente entre cada lote de producción. Los valores de pH se encontraron entre 5,25 y 6,29, la temperatura de entrada entre 77,30 y 93,00 °C.
3. La variabilidad de los parámetros operacionales, pH, la temperatura inicial, la temperatura final y el tiempo de concentración, medidos en la panelera demostró que influyen en el color de la meladura. Siendo el pH el parámetro que influye significativamente y la temperatura final el factor que no influye en la variabilidad del color.
4. En la etapa de cristalización el parámetro operacional que influye altamente significativamente en el color de panela granulada es el color inicial mientras que el tiempo, el pH, la temperatura inicial y final no son significativos.

#### **5.2 RECOMENDACIONES**

1. Que se estudie la influencia de otros parámetros operacionales en el color de la panela.
2. Que se estudie el comportamiento del color en todo el proceso de producción y se incrementen el número de datos recolectados.
3. Que se utilicen otras técnicas de modelación matemática para predecir el color de panela y disminuir la variabilidad de este atributo de calidad.

## CAPITULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Arredondo, H. I. V., Janna, F. C., y Santamaría, A. F. A. (2004). Diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(2), 2453-2465.
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
- Badui, D. S. (2016). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
- Díaz, N., y Clotet, R. (1995). Cinética de la caramelización en soluciones azucaradas simples. *Alimentaria, Enero-Febrero 95*, 35-38.
- Díaz, P., y Fernández, P. (2001). Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal. *Metodología de la Investigación*, 1(6).
- Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M. G., Custodio, O., Rosales, A., Ruíz, N., . . . Palacios, N. (2012). *Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: protocolos de laboratorio 2012*: CIMMYT.
- Galicia, R. M., Hernández, C. A. S., Velasco, V. J., y Hidarlgo, C. J. V. (2017). EVALUACION DE LA CALIDAD E INOCUIDAD DE LA PANELA DE VERACRUZ, MEXICO. *AGROProductividad*, 10(11), 35-41.
- García, H. R., Albarracín, L. C., Toscano, T. A., Santana, N., y Insuasty, O. (2007). Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera.
- González, A., y Moralejo, S. (2007). Protocolo de actuación en el diseño de un sistema de trazabilidad para la industria alimentaria. *Agroalimentaria*, 12(25), 63-84.
- González, J., Escobar, J., Uvidia, H., González, V., Borja, N., y Ramírez, J. L. (2016). Calidad de la producción de panelas utilizadas para la alimentación animal en la Amazonía Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(12), 1-8.
- Guaman, F., Guaman, E., y Villavicencio, H. (2009). *Diseño, simulación y emulación de una planta productora de panela*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador.
- INEN. (2002). *PANELA GRANULADA REQUISITOS*. Quito- Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Martínez, R., y García, J. (2018). Análisis del desarrollo de la agroindustria local ecuatoriana y su relación con el potencial territorial.//Analysis of the development of the Ecuadorian local agroindustry and its relation with the territorial potential. *Ciencia Unemi*, 10(25), 45-54.
- Mascietti, M. M. (2014). *Panela: propiedades, información y aceptación*. (Licenciatura en Nutrición ), Universidad de FASTA, Argentina.
- Moreno, W. Q., Gallardo, I., y Torres, M. (2016). El color en la calidad de los edulcorantes de la agroindustria panelera. *Afinidad*, 73(573).
- Norma Mexicana. (2012a). *NMX-F-266-SCFI-2012. Industria azucarera y alcoholera-determinacion del pH en muestras de jugo de caña de azucar, meladura y mieles*. México: Norma Mexicana.

- Norma Mexicana. (2012b). *NMX-F-526-SCFI-2012. INDUSTRIA AZUCARERA Y ALCOHOLERA - DETERMINACIÓN DE COLOR POR ABSORBANCIA EN AZÚCARES (CANCELA A LA NMX-526-1992)* México: Norma Mexicana.
- Osorio, G. (2007). Buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manufactura (BPM) en la producción de caña y panela. *Medellín, Colombia: Corpoica, Mana, FAO.*
- Prada , F. L. E., Chaves , G. A., y García, B. H. R. (2015). Efectos de la presión de evaporación y la variedad de caña en la calidad de la miel y la panela. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 16(2)*, 153-165.
- Prada , F. L. E., García , B. H. R., y Cháves , G. A. (2015). Efecto de las variables de evaporación: presión y flujo calórico en la calidad de la panela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 16(1)*, 7-23.
- Quezada, M. W. F. (2012). Guía técnica de agroindustria panelera. In.
- Ramírez, L. E. C., Quiñonez, M. J. A., Parra, H. S., y Contreras, W. G. (2017). Diseño de un sistema de instrumentación y monitoreo de las variables en el proceso de dosificación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) para la producción de panela. *Matices tecnológicos, 6*, 18-23.
- Rodriguez, G., Garcia, H., Roa, D. Z., y Santacoloma, P. (2004). *Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina: AGSF Documento de Trabajo (FAO).*
- Rodríguez, M. J. J., y Mora Catalá, R. (2001). Análisis de regresión múltiple. *Técnicas de Investigación Social II.*
- Rodríguez, M. J. J., y Mora , C. R. (2001). Análisis de regresión múltiple. *Técnicas de Investigación Social II.*
- Rossi, J. P. (2007). La combinación de los azúcares con las biomoléculas: desde la cocina al organismo. *Medicina, 67(2)*, 161-166.
- Sandoval , M. K. M., Jara , E. J. F., y Jiménez, B. D. J. (2018). Exportación de panela orgánica-Asociación CEPRESA. *UCV-HACER: Revista de Investigación y Cultura, 7(3)*, 33-43.
- Suárez , C. J. E., González, D. A. M., Rojas , U. C. A., y Londoño , C. N. A. (2017). Análisis de ciclo de vida aplicado a la producción panelera tradicional en Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias, 6(1)*, 107-122.
- Triola, M. F., y Lossi, L. (2013). *Estadística (Vol. 11): Pearson Educación.*
- Useda , G. M. E., y Guzmán , E. J. D. (2016). Eficiencia técnica de la producción de panela. *Revista de Tecnología, 14(1)*.
- Valero Ubierna, C., y Ruiz-Altisent, M. (1998). Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas. *Fruticultura profesional(95)*, 38-45.
- Valle M., J., y Guerra B., W. (2012). La multicolinealidad en modelos de regresión lineal múltiple. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 21(4)*, 80-83.
- Vidales, V. J. A., y Peña, N. A. (2019). Estudio experimental sobre el secado de bagazo de caña de azúcar panelera. *Scientia et Technica, 24(1)*, 25-34.
- Villasís, M. Á., y Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación IV: las variables de estudio. *Revista Alergia México, 63(3)*, 303-310.

