UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Trabajo de la Unidad de Integración Curricular para

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

“MODELOS MATEMÁTICOS PARA LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DE LA PANELA”

AUTOR:

Jean Carlos Tobanda Barragán

DIRECTOR DEL PROYECTO:

Msc. Víctor Rodrigo Cerda Mejía

PUYO – ECUADOR

ENERO 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Quien suscribe Jean Carlos Tobanda Barragán con C.I 1600387870 hacen constar que es autor/es del Proyecto de investigación/ Trabajo de Integración Curricular titulado: **MODELOS MATEMÁTICOS PARA LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DE LA PANELA**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc Víctor Rodrigo Cerda Mejía. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 29 días del mes de enero del 2021



Jean Carlos Tobanda Barragán

C.I: 1600387870

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación/trabajo de Integración Curricular aprueba el proyecto de investigación/trabajo de Integración Curricular titulado: **MODELOS MATEMÁTICOS PARA LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DE LA PANELA**



Dr Amaury Perez

Presidente del Tribunal



Dr Vicente Dominguez

Miembro del tribunal



Msc Cristian Abad

Miembro del tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 79-SAU-UEA-2021

Puyo, 22 de febrero de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Jean Carlos Tobanda Barragán con C.I. 1600387870, con el Tema: **"MODELOS MATEMÁTICOS PARA LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DE LA PANELA."**, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director de la investigación Ing. Víctor Rodrigo Cerda Mejía, MSc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 22 de febrero de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,



Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

DERECHOS DE AUTOR

©2021, Jean Carlos Tobanda Barragán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

DEDICATORIA

Llegar a esta etapa final, un recorrido de mucha persistencia y constancia pero sobre todo sacrificio, un sacrificio que en primer lugar fue demostrado día a día por mis padres a quiénes con mucho amor dedico este triunfo.

A mi madre por ser el eje fundamental de mi vida, aquella mujer que a pesar de la adversidad supo calladamente ser ejemplo de vida, ejemplo de superación y ejemplo de lucha férrea por vivir; una mujer incomparable de quien aprendí valores como la confianza, la humildad, la honestidad y el trabajo arduo por ser más que un profesional un ser humano de excelencia en todo el sentido de la palabra.

A mi padre, que si tuviese que definirlo, sería un hombre demasiado preocupado por su familia, por su esposa y por sus hijos, sin duda aquel ser humano que demostró fortaleza y valentía para enfrentarse a su diario vivir pero siempre junto a nosotros.

A mis hermanos, quiénes han sabido convertirse en mi espejo de vida, en quiénes siempre me veo reflejado para convertirme en el futuro profesional de la patria, a ellos y sus hijos mis adorables sobrinos que amo y extraño tanto por nuestras divertidas anécdotas y sus bellas miradas tiernas e inocentes.

Y por sobre todo, al más grande al dueño del oro, la plata, el tiempo; aquel que me brindó la sabiduría todos los días en esta carrera de la vida y quien me ha acompañado en cada momento sin soltarme de la mano susurrándome al oído que soy capaz de lograrlo y ahora lo he logrado, dedicado a mi gran Dios.

Grito al cielo a viva voz hoy en día, lo he logrado!

AGRADECIMIENTO

Plasmado en este documento queda mi agradecimiento a la Universidad Estatal Amazónica cuna de los más grandes profesionales en la región amazónica ecuatoriana,

A la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la cual pude obtener los conocimientos que me llevarán a demostrar el profesionalismo adquirido,

A mis docentes y profesores que con mucha paciencia supieron brindarme toda su experiencia profesional y experiencia de vida,

A mis compañeros de carrera que fueron testigos de mi esfuerzo diario por cumplir con cada tarea, de la persistencia en el estudio para superar las evaluaciones y exámenes,

A mis amigos más cercanos que supieron entender el distanciamiento temporal por cumplir con mis responsabilidades académicas,

Y por supuesto a mi tutor al Msc. Víctor Rodrigo Cerda Mejía quien supo guiarme en este proceso documental, corrigiendo mis errores y exaltando mis aciertos.

A todos muchas gracias…

RESUMEN

Este documento fue producto de una extensa investigación de los procesos de producción de panela a partir de caña de azúcar, para determinar los métodos y modelos matemáticos más eficientes para mejorar la calidad del producto final. Los modelos matemáticos obtenidos han sido desarrollados por científicos que, a través de experimentos de prueba-error, han definido métodos que ahora sirven como base fundamental en los procesos de panela, mismo que se aplican en producción nacional e internacional. Con la finalidad de alcanzar los objetivos previstos en el estudio se propuso realizar una búsqueda bibliográfica con palabras claves que esquematicen la infromación recopilada, palabras tales como "panela", "modelos matemáticos", indicadores de calidad", "quality", "mathematical models", fueron las más empeladas en buscadores. Los resultados finales determinaron que existe información muy limitada respecto a los indicadores de calidad para la producción de panela y los modelos matemáticos aún no desarrollados para la aplicación en dichos procesos.

Esperamos que este estudio pueda servir como apertura hacia nuevas investigaciones para desarrollar modelos matemáticos que permitan mejorar la calidad de productos no solamente de aquellos de consumo masivo, sino también de los alternativos o suplementarios como lo es la panela como derivado de la caña de azúcar.

Palabras clave: panela, modelos matemáticos, índices de calidad, procesos paneleros.

ABSTRAC

This document was the product of an extensive investigation of the panela production processes from sugar cane, to determine the most efficient mathematical methods and models to improve the quality of the final product. The mathematical models obtained have been developed by scientists who, through trial-error experiments, have defined methods that now serve as a fundamental basis in the panela processes, which are applied in national and international production. In order to achieve the objectives, set out in the study, it was proposed to carry out a bibliographic search with keywords that outline the information collected, words such as "panela", "mathematical models", quality indicators ", were the most used in search engines. The final results determined that there is very limited information regarding the quality indicators for the production of panela and the mathematical models not yet developed for the application in these processes.

We hope that this study can serve as an opening towards new research to develop mathematical models that allow improving the quality of products not only of those for mass consumption, but also of alternative or supplementary ones such as panela as a derivative of sugar cane.

Keywords: panela, mathematical models, quality indices, panela processes

Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1 Planteamiento del Problema 1
1.2 OBJETIVOS 2
1.2.1 Objetivo General 2
1.2.2 Objetivos Específicos 2
1.3 JUSTIFICACIÓN 3
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1 PANELA 4
2.1.4 Diagrama de flujo de la producción de la Panela 5
2.1.5 Elaboración de la Panela 6
2.1.5.1 Extracción de materia prima 6
2.1.5.2 Recepción y acondicionamiento de la caña 7
2.1.5.3 Recepción y apronte de la caña de azúcar 7
2.1.5.4 Pesaje de la caña 8
2.1.5.5 Limpieza de la materia prima 8
2.1.5.6 Molienda 8
2.1.5.7 Pre limpieza 9
2.1.6 Factores determinantes la calidad de la panela 12
2.1.7 Variables que afectan la calidad de la panela 13
2.2 Indicadores de calidad 15
2.3 Modelo matemático 16
2.5.1 NORMAS TÉCNICAS ECUATORIANAS 18
2.5.1.1 INEN 2331 18
2.5.1.2 INEN 2332 19

2.5.1.3 INEN 265 20
2.5.1.4 INEN 266 21
2.5.1.5 INEN 268 21
2.5.2 NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES 22
2.5.2.1 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1311 22
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 25
3.1 LOCALIZACIÓN 25
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 25
3.2.1 Investigación descriptiva 25
3.3 Método de Investigación 26
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS 28
4.1.1 INDICADORES DE CALIDAD 28
4.1.1.1 HUMEDAD 28
4.1.1.2 ACTIVIDAD DEL AGUA 30
4.1.1.3 SÓLIDOS SOLUBLES 31
4.1.1.4 MADUREZ 32
4.1.1.5 pH 33
4.1.1.6 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN 34
4.1.1.7 LEY DE ANTOINE - TEMPERATURA 34
4.1.1.8 CALOR 35
4.1.2 COLOR 36
4.2 CONCLUSIONES 42
4.3 RECOMENDACIONES 43
REFERENCIAS 44

Índice de Tablas

Tabla 1. Variables que afectan a la calidad de la panela. Fuente: Mosquera, 2007 13
Tabla 2. Requisitos físico químicos para la panela sólida. Fuente: INEN 2331 18
Tabla 3. Límite máximo de Contaminantes para la Panela. Fuente: INEN 2331..... 18
Tabla 4. Requisitos microbiológicos para la panela. Fuente: INEN 2331 19
Tabla 5. Requisitos de la Panela Granulada. Fuente: INEN 2331 19
Tabla 6. Sólidos sedimentables y granulometría. Fuente: INEN 2331 19
Tabla 7. Requisitos microbiológicos para la Panela Granulada. Fuente: INEN 2331..... 20
Tabla 8. Requisitos físico químicos para la panela en bloque. Fuente: NTC 1311..... 22
Tabla 9. Requisitos físico químicos para la panela granulada o pulverizada. Fuente: NTC 1311 .23
Tabla 10. Requisitos microbiológicos para la panela. Fuente: NTC 1311 23
Tabla 11. Límite máximo de Contaminantes para la Panela. Fuente: NTC 1311 23
Tabla 12. Análisis de varianza de las variables de la etapa de cristalización. Fuente: Cerda-Mejía, 2020..... 36
Tabla 13. Modelos matemáticos para indicadores de calidad. Fuente: Elaboración propia..... 39

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso panelero. 5
Figura 3. Mapa de la Provincia de Pastaza 25
Figura 4. Valoración de color y azufre en la panela 37
Figura 5. Abanico colorimétrico para la determinación del color en los edulcorantes. Fuente: El color en la calidad de los edulcorantes de la agroindustria panelera. (Galicia-Romero, 2017) 38
Figura 6. Clasificación de la panela conforme su color. 38

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En la provincia de Pastaza el proceso de obtención de panela es de tipo artesanal que consiste en la concentración del jugo de caña por evaporación. A diferencia del azúcar sulfitado que es un producto con un proceso de tipo industrial sometido a procesos de refinado, centrifugado y adición de productos químicos para obtener el azúcar blanco. Por esta razón, la panela al ser un producto natural mantiene todos los nutrientes de la caña de azúcar. (Quezada & Gallardo, 2014). Sin embargo, se evidencian poca o casi nulas acciones para el control de calidad de la panela, dando como resultado una variabilidad en aspectos como el color, humedad, tamaño. Por lo tanto, es menester dotar a las industrias productoras de panela de herramientas de bajo costo para hacer el proceso de obtención de panela más eficiente, por ejemplo, la modelación matemática de los indicadores de calidad podrían permitir incursionar en el control de procesos automáticos o semi automáticos. Por lo tanto, desconocer sobre estos modelos aleja cada vez más a los paneleros de alcanzar un producto de mejor calidad y a su vez que no se aprovechan los beneficios del modelado matemático, esto es el poder inferir a través de cálculos el resultado que vamos a obtener en caso de que se realice determinado proceso de producción. Por esta razón en el presente estudio nace la duda de ¿Cuáles son los modelos matemáticos desarrollados hasta la actualidad para los indicadores de calidad de la panela?

Las investigaciones buscan siempre mejorar la metodología utilizada para la obtención del producto final panelero, optimizando recursos en cada una de las fases y etapas, así como la reducción en los tiempos del procesamiento de la materia prima. Se puede aplicar una diversidad de modelos matemáticos que beneficien la producción panelera los mismos que se presentan en la investigación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Identificar los modelos matemáticos desarrollados para los indicadores de calidad de la panela.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar los indicadores de calidad de la panela utilizados a lo largo de su producción.
- ✓ Recopilar los modelos matemáticos y datos sobre los indicadores de calidad proveniente de investigaciones previas a través de la búsqueda bibliográfica.
- ✓ Sistematizar y comparar los modelos matemáticos para los indicadores de calidad de la panela más eficaces.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente se produce panela granulada que ofrece características similares al azúcar en polvo con procesos de granulación artesanales, lo cual limita la estandarización del producto, así como la producción a gran escala. Igualmente, el proceso de granulación actual genera partículas heterogéneas de gran tamaño, lo que reduce la velocidad de disolución, limitando su competitividad en los mercados de productos como el azúcar refinado y otros endulzantes. (Benalcázar 2019)

Ante la problemática de que la producción de panela es en su gran mayoría artesanal, lo que se busca es que a través de la modelación matemática se logre controlar la calidad de la panela obtenida, por medio de cálculos que definan el control de los indicadores y que sirvan como punto de partida para mejorar los procesos paneleros en las industrias de la localidad. Por ende, que resulta pertinente realizar una búsqueda bibliográfica exhaustiva de todos los modelos matemáticos que han sido utilizados para los indicadores de calidad de la panela. El beneficio de este estudio será para todos quienes realicen actividades relacionadas con la producción de panela y la utilización de los derivados de la caña de azúcar, como la miel de caña de azúcar e incluso el azúcar natural. Les brindará ayuda, pues permitirá poner en evidencia bajo qué valores los indicadores brindarán un producto de mejor calidad, problema que es frecuente entre los productores de panela. Al ser un estudio de tipo cualitativo poseerá un valor teórico, pues permitirá encontrar la relación entre las variables y su validez matemática, permitiendo utilizar esos modelos en estudios posteriores como investigaciones experimentales y la tecnificación industrial.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 PANELA

2.1.1 Definición

Es un tipo de azúcar integral, que también se la conoce como atado, chancaca o raspadura. Consiste en un producto obtenido de la concentración del jugo de la caña (Saccharum Oficinarum), que contiene grandes cantidades de azúcares y minerales, de color café, sabor dulce y un aroma que le caracteriza. Su composición es principalmente por sacarosa y una pequeña cantidad de azúcares invertidos. (Quezada W. , 2007)

2.1.2 La panela en el Ecuador

En el país, todas las provincias producen derivados de la caña de azúcar y realizan actividad panelera. Se contabilizan más de 82749 hectáreas de caña para la producción de azúcar y 42606 hectáreas de caña para otros usos. Para la producción de panela se dedican 30602 hectáreas con una producción promedio de 70 t/ ha. (Lara, 2019) Así mismo la actividad panelera que más prevalece es la artesanal, aunque sí existe el esfuerzo de hallar mejoras tecnológicas para la producción de panela, azúcar natural y recientes estudios con miel de caña. (Shiguango, 2020)

Existen falencias en la calidad de la panela, debido a factores como falta de inocuidad, diversificación de productos, falta de rendimiento productivo, falta de tecnologías. La necesidad de la agroindustria paneleras son mejoras tecnológicas para propiciar y dinamizar el proceso productivo y así incrementar la competitividad de la empresa apoyada en la calidad, desarrollo científico, tecnológico y social. (Lara, 2019)

2.1.3 Tipos de Panela

Dependiendo del proceso se pueden obtener dos tipos de panela, una sólida en forma de bloques que se obtienen a través del proceso de evaporación y solidificación y otra granulada, que tiene forma de granos, obtenido por el proceso de evaporación, batido y enfriamiento del jugo de caña de azúcar. (Quezada, 2007)

2.1.4 Diagrama de flujo de la producción de la Panela

El proceso panelero está determinado por las diferentes etapas desde la recepción de la materia prima (caña de azúcar) hasta la obtención de la panela como producto final sea esta de forma sólida en bloques o granulada. A continuación Figura 1.

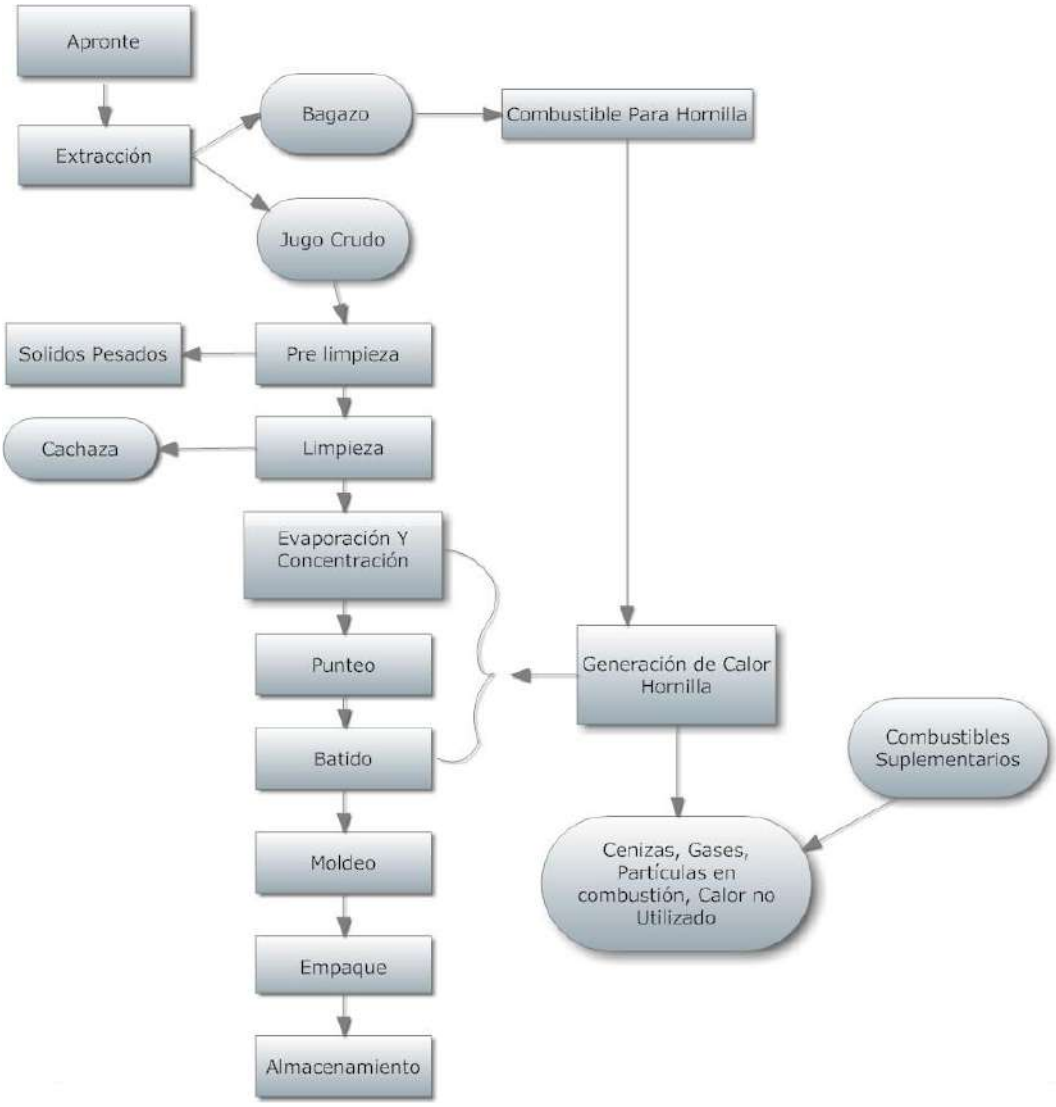


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso panelero.

Fuente: (Quezada, 2007)

2.1.5 Elaboración de la Panela

Previo al dar inicio al proceso industrial para la elaboración de la panela, se debe tomar en cuenta de forma muy importante aquellos proveedores de la materia prima principal, la caña; en la gran mayoría de escenarios en la industria panelera el proveedor de la materia prima suele ser el mismo agente panelero por lo cual velará el estricto cumplimiento de las exigencias y características de la caña para que cumpla con las condiciones óptimas para la obtención de un producto final de calidad.

El lugar de recepción debe estar acondicionado en espacio y humedad lo suficientemente adecuado para el reposo de la caña, la cual debe estar en su estado exacto de madurez (22 a 24 ^{0} Brix), limpia, libre de hojas u objetos extraños y fresca, es decir no estar almacenada más de 24 horas posterior al corte primario en el cañaveral. (Palacio, 2016)

El proceso para generar panela consiste en varias etapas, partiendo de la materia prima hasta lograr formar panela, bien sea sólida (en bloques) o granulada. (Santamaría H. , 2012)

1. Extracción de la materia prima: se realiza el corte de la caña de azúcar.
2. Recepción y acondicionamiento de la caña: se desarrolla el alza, transporte, recepción, apronte, pesaje de la caña de azúcar y limpieza.
3. Extracción y acondicionamiento de los jugos: se ejecuta la molienda, la prelimpieza y el almacenamiento de los jugos.
4. Obtención de mieles para la panela: se efectúa la clarificación, evaporación, concentración y punteo,
5. Elaboración de la panela: se realiza el batido – enfriamiento y tamizado. (Santamaría H. , 2012)

2.1.5.1 Extracción de materia prima

Existen dos formas de cortar la caña de azúcar para su posterior procesamiento la primera, es por entresaque o des guíe, aquí el agricultor selecciona una por una la caña de azúcar y la corta según le determine su experiencia para identificar cuál de los tallos de caña de azúcar se encuentra maduro. (Santamaría H. , 2012) El otro tipo de corte es por parejo, en el que todos los tallos de caña de azúcar son cortados a la vez; este tipo de corte se realiza normalmente en cultivos

tecnificados en los que existe una homogeneidad en el crecimiento y por lo tanto la madurez de la caña de azúcar es uniforme, este tipo de corte se justifica cuando los costos de producción son menores al emplear equipos de corte y no mano de obra. (Santamaría H. , 2012)

La realidad de los agricultores en el Ecuador para la obtención de la materia prima no presenta un problema superior, dado que un 90% de productores paneleros siembran y cosechan en sus parcelas de terreno la caña de azúcar la misma que posteriormente servirá con elemento principal en el proceso industrial de la panela. En ciertas temporadas del año la extracción de la caña de azúcar resulta dificultoso debido a la época invernal, donde las lluvias se hacen presentes de forma abundante provocando la inundación de los cañaverales y el deterioro del producto, este panorama se evidencia principalmente en la zona amazónica por su clima húmedo tropical y el alto índice de precipitaciones constantes. (Rodrígues, 1993)

2.1.5.2 Recepción y acondicionamiento de la caña

El alce y transporte tiene como objetivo recoger los tallos de caña cortados y transportarlos hasta la zona destinada para su almacenamiento en el cañatero, de la mejor manera posible; en los distritos de Piura el transporte en la zona de cultivo se viene realizando en su mayoría con animales de carga (asnos) y en pequeñas unidades de camiones. (Santamaría H. , 2012)

Sin embargo debido al incremento y crecimiento demográfico, hoy en día un gran número de cañaverales cuentan con un acceso vial de primer o segundo orden, facilitando de esta forma el transporte hacia la industria panelera y permitiendo así que los tiempos de producción se acorten e incrementando el volumen de la panela. (Padilla, 2012)

2.1.5.3 Recepción y apronte de la caña de azúcar

La recepción de los troncos de caña de azúcar, es realizada de tal manera que facilite su continuidad a la hora de la molienda con lo cual el cañatero debe estar cerca y tener un fácil acceso al molino, además de encontrarse protegido del sol para evitar la deshidratación de la caña de azúcar y con ello la inversión de la sacarosa. (Santamaría H. , 2012)

2.1.5.4 Pesaje de la caña

Es una operación fundamental que permite obtener datos necesarios para la determinación de parámetros productivos, de capacidad, de rendimiento y eficiencia. (Santamaría H. , 2012) Para realizar esta etapa se puede hacer uso de plataformas de pasaje (para carros, camiones y asnos), de balanzas romanas o de balanzas de plataforma; cualquiera que sea la forma, es necesario que sea eficiente para no interferir con el proceso de la obtención de la panela. (Santamaría H. , 2012)

2.1.5.5 Limpieza de la materia prima

La limpieza se realiza generalmente al tallo de la caña en dos etapas, en equipos conocidos como prelimpiadores. En la caña se realiza la limpieza con el fin de separar la mayor cantidad de hojas frescas, secas y podridas que están adheridas al tallo y partes de raíces que aún contienen tierra u otro material ajeno que altere el proceso y vulnere la calidad. Para este caso el trabajo se realiza manualmente utilizando un machete y en ciertos casos duchas de agua a presión; en este último proceso las duchas de agua presión son recomendados siempre y cuando la utilización de la materia prima no sobrepase el tiempo máximo de 24 horas, ya que al exponer la caña al agua se corre el riesgo de que se pudra si se la almacena por un periodo de tiempo superior. (Benalcázar, 2015)

Generalmente la caña de azúcar como materia prima principal no suele tener un proceso de limpieza previo, los productores utilizan la caña de azúcar directamente después de recolectarla en campo dando paso a la presencia de impurezas, sobre todo la tierra presente por las raíces contenidas la cual posteriormente se disuelve en el jugo una vez que se exprime la caña, también en ciertos casos se puede evidenciar la presencia y arrastre de hojas y/o trozos de bagazo; esto limita la calidad del producto final (panela) debido a la presencia abundante de microorganismos, por ello la recomendación de aplicar el proceso de limpieza de impurezas previo al proceso de extracción. (Santamaría V. C., 2018)

2.1.5.6 Molienda

Llamada así a la operación que consiste en pasar la caña de azúcar por medio de los rodillos o mazas de un molino, para obtener el jugo de caña o guarapo. En este mismo proceso también se obtiene el bagazo fresco, que es residuo de fibra de caña de azúcar, siendo muy importante la

humedad con la que sale del molino; ya que este bagazo fresco, al perder parte del agua restante de manera natural (secado a la intemperie), será usado como combustible para aumentar la temperatura de los jugos evaporando el agua contenida en ellos y concentrando las mieles hasta llegar al punto de panela. (Santamaría H. , 2012) Existen diversos tipos de molinos o trapiches, los más comunes de 3 o 5 mazas, también hay de dos disposiciones como: horizontal y vertical, o de peculiar distribución como la triangular y más arreglos donde se ordena por conveniencia: mejor maniobrabilidad, tipo de energía que aprovechará el molino (caídas de agua, energía eléctrica, combustibles, etc.), capacidad de la planta, así como el factor humano (mano de obra disponible y organización para el inicio de producción). (Santamaría H. , 2012)

Un buen ajuste de los molinos paneleros permite obtener adecuados porcentajes de extracción de jugos y bagazo con bajo contenido de humedad. El bagazo es utilizado posteriormente en la caldera, se estima extracciones buenas entre el 50% al 65%. Se puede obtener extracciones superiores al 70%, pero el bagazo que sale del molino es muy desintegrado, mientras que con extracciones inferiores al 50% los porcentajes de extracción son bajos y consecuentemente los rendimientos del producto final son bajos (Quezada, 2007)

La velocidad de rotación de los molinos es de 6 a 15 rpm, con velocidades superiores a las indicadas se muele más caña por hora, pero disminuye la capacidad de extracción, ya que disminuye el tiempo de permanencia de la caña entre las masas (presión), por lo que el jugo no tiene tiempo a escurrirse y es arrastrado por el mismo bagazo que sale. (Quezada, 2007)

2.1.5.7 Pre limpieza

La pre-limpieza es la tarea que se basa en separar por medios físicos y a temperatura ambiente las impurezas dispersas en el jugo, constituidas primordialmente por restos de bagazo, bagacillo de la caña, partículas de tierra, material flotante, lodos, ceras y grasas. (Santamaría H. , 2012) Para llevar a cabo dicha operación se utilizan los pre-limpiadores, que son depósitos diseñados de forma conveniente para que separen y sedimenten por diferencia de densidades, las partículas sólidas en suspensión del jugo de la caña obtenido de la molienda. (Santamaría H. , 2012)

Los prelimpiadores son elementos clave en el proceso de limpieza de jugos, permiten retirar el bagacillo y gran parte de lodos y arenas presentes en el jugo recién extraídos obteniendo el producto

claro según el tipo de caña. Con los prelimpiadores se elimina el uso de clarificadores químicos en el producto brindando ventajas económicas, calidad al producir productos naturales y especialmente evita consumir sustancias nocivas para la salud (Quezada, 2007).

2.1.5.8 Clarificación

Esta etapa se realiza en la paila clarificadora, la cual se encuentra en contacto con el flujo de gases calientes emitido por la hornilla panelera. (Santamaría H. , 2012) El objetivo de ésta etapa es limpiar el jugo de caña de azúcar mediante una operación combinada de calor generado en la hornilla (para lograr un precalentamiento) y la adición de un agente floculante generalmente a base de cortezas de plantas como el guácimo o el cadillo (Colombia), para facilitar la formación de cachaza, en otras regiones como la sierra de Piura, se usa un regulador de pH, generalmente jugo con tamo del café (ceniza de la cáscara del café orgánico) o bicarbonato de sodio para regular la acidez de los jugos, parámetro que al variar ocasiona la floculación. (Santamaría H. , 2012) En esta etapa se retira manualmente la cachaza formada y se controla el pH del jugo de la caña de azúcar, tratando de mantener un pH neutro (pH=7) para evitar la inversión de la sacarosa en azúcares reductores (fructosa y glucosa), asegurando la calidad de panela. (Santamaría H. , 2012)

2.1.5.9 Evaporación y concentración

Finalizada la etapa de clarificación, se inicia la evaporación del agua contenida en los jugos de la caña de azúcar, de esta manera se logra concentrar los azúcares en los jugos. (Santamaría H. , 2012) En dicha etapa el calor suministrado por la combustión en la hornilla es aprovechado para el cambio de fase del agua (de líquido a vapor) con lo cual se logra aumentar el contenido inicial de sólidos solubles hasta el punto para la obtención de panela. (Santamaría H. , 2012) Cuando lo jugos alcanzan un contenido de sólidos solubles cercanos a 70ºBrix, estos jugos adquieren el nombre de mieles. (Peñaranda, 2012)

2.1.5.10 Punteo

El punteo es la operación de trasvasar las mieles (a 96ºBrix aproximadamente) de la paila punteadora a un depósito fuera del contacto con el flujo caliente de los gases de combustión, para su posterior batido y enfriamiento. (Santamaría H. , 2012) Esta operación se repite cada cierto tiempo hasta procesar todas las mieles y el tiempo de espera entre punteo y punteo depende de la capacidad de producción del módulo panelero. (Santamaría H. , 2012) En esta etapa de elaboración de panela, se persigue la obtención del "punto panela" en el que un indicativo térmico es la temperatura de 128ºC que alcanzan las mieles, lo que indica que está alrededor de 96ºBrix. (Santamaría H. , 2012) En las plantas de procesamiento de panela granulada, por la falta de instrumentos de control, se recurre a la observación de ciertas características; un ejemplo típico es el método empleado en la sierra de Piura, donde se toma una muestra de miel y ésta inmediatamente es sumergida en agua fría a temperatura ambiente, al realizar este procedimiento la miel debería cristalizar y volverse frágil o quebradiza, determinando de este modo que las mieles están listas para pasar a la siguiente etapa. (Santamaría H. , 2012)

2.1.5.11 Batido y enfriamiento

Esta etapa se realiza en una batea de acero inoxidable en donde por fuerza intermitente de batido se cristaliza progresivamente y se da la forma de grano a la panela mientras ésta se enfría. (Santamaría H. , 2012)

2.1.5.12 Tamizado

Esta etapa consiste en separar partículas de diferentes tamaños de granos de panela por un tamiz o cedazo. Los granos más finos en su conjunto se denominan panela granulada y los granos que no logren pasar el tamiz (granos gruesos) en su conjunto se denomina confitillo. (Santamaría H. , 2012)

2.1.6 Factores determinantes la calidad de la panela

Cada uno de los pasos para elaborar la panela tiene su debida importancia para lograr un producto de calidad, aunque a grandes rasgos existen factores que afectan en la calidad de la misma. (Santamaría H. , 2012)

- ✓ Grado de madurez, o el tiempo en que es cosechada la caña de azúcar, ya que depende de este tiempo, como es que la inversión de la sacarosa se acelera (indeseado) y con ello la calidad de textura y color adecuado. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Modo de cosecha de la caña de azúcar, donde se obtienen resultados diferentes cuando se realiza por entresaque y por parejo. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Cuando se cosecha más de cinco veces la misma caña, es decir cuando la caña de azúcar ya se encuentra vieja, en el producto final se ve desfavorecida. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Buena distribución de los ambientes de la planta de producción de panela granulada, para que el vapor de agua que se encuentra evaporando del proceso, no entre en contacto directo con la panela granulada (producto final) y así no aumentar la humedad de la panela, que deterioraría en calidad y la conservación del producto. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ El tiempo que tiene el apronte de la caña de azúcar, después del corte y antes de la molienda, es un periodo que pone en juego la inversión de la sacarosa. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Climatología, donde las condiciones atmosféricas varían la calidad de la panela, como presencia de lluvias o sequías. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ La dosificación del regulador en muchos casos: (ceniza de la cáscara del café orgánico, bicarbonato de sodio, etc.), que debe controlar correctamente el pH del jugo de caña, caso contrario es seguro que no se obtengan buenos resultados de panela e incluso no llegue a granular. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Cuando se mezcla diferentes tipos de caña en la molienda, el jugo de esta mezcla tendrá un pH desconocido y en caso de que éste no se controle, se obtendrá panela de mala calidad. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Limpieza dentro del proceso de la panela, incluyendo utensilios, pailas, tuberías, envases, empaques, etc. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Uso de fertilizantes en el cultivo ya sea de carácter orgánico o industrial. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ Habilidad del operario o persona capacitada en el proceso de producción de panela. (Santamaría H. , 2012)

- ✓ Correcto envasado y almacenaje para conservar la calidad de la panela. (Santamaría H. , 2012)
- ✓ El saneamiento correcto y oportuno de la caña de azúcar, para disminuir las enfermedades y plagas en la caña. (Santamaría H. , 2012)

2.1.7 Variables que afectan la calidad de la panela

Dentro de los factores más importantes que influyen directamente en el deterioro de la calidad del procesamiento de la panela son la humedad, la composición y las condiciones medioambientales. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007) Mientras la absorción de la humedad es mayor, la panela cambia de color y se vuelve más blanda, aumenta los azúcares reductores y disminuye el contenido de sacarosa. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007)

En la Tabla 1, se muestran las principales variables que afectan la calidad durante el proceso panelero clasificándose en variables del proceso, del producto o complementarias: (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007)

Tabla 1. Variables que afectan a la calidad de la panela.

Área	Variable	Clasificación
Materia Prima	Grado de madurez	De producto
	Variedad	De producto
	Terreno de donde proviene	De producto
	Tiempo de almacenamiento	De producto
	pH del jugo	Complementaria
	Brix	De producto
Proceso	Molienda	De producto
	Prelimpieza	De proceso
	Gradiente de temperatura en la clarificación	Complementaria
	Grados Brix finales	Complementaria
	Instrumentos de medida	Complementaria
	Tiempo de moldeo	De producto
	Material de las falcas	Complementaria
	Subjetividad del melero	Complementaria

	Visibilidad	Complementaria
	Tipo de combustible	De proceso
	Asepsia	De producto
	Batido	De producto
	Temperatura de aplicación de cadillo	Complementaria
	Tiempo de concentración de jugo	Complementaria
	Adición de cal	De producto
	Gradiente de temperatura	Complementaria
	Calidad y cantidad de cadillo a adicionar	Complementaria
	Limpieza del jugo	De proceso
Servicios	Agua	Complementaria
	Energía	De proceso
Empaque	Cartón / plástico	De producto
	Papel	De producto

Fuente: (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007)

Las variables del producto son las que afectan directamente la calidad o presentación del mismo, tales como la variedad de la caña, donde generalmente las variedades mejoradas ofrecen una mayor calidad en cuanto a textura y color. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007) El grado de madurez es otra variable, porque si la materia prima no ha alcanzado el índice de madurez adecuado (0,95 a 1), el producto terminado presentará dificultades para alcanzar la textura y el color adecuados. También, el número de corte es importan- te, debido a que cuando el cultivo es viejo (más de 5 cortes), el producto terminado presenta dificultades con su color. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007) El tiempo de almacenamiento es primordial, si es prolongado (más de 3 días) se agiliza la inversión de la sacarosa, siendo esta reacción precursora de las coloraciones oscuras. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007) La asepsia y empaques son variables relevantes, debido a que, si el trapiche no se encuentra en buenas condiciones de asepsia y si la calidad del empaque no es buena, el producto se contaminará ocasionando el rechazo por parte del consumidor. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007) Un mal batido o un batido prolongado afectará la presentación de la panela porque se introduce una gran cantidad de aire, que al compactarse dificulta el moldeo. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007) La cantidad de cal adicionada determinará la textura de la panela y la adición de cadillo afectará el grado de limpieza del producto terminado. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007)

Las variables complementarias son las que, además de afectar al producto afectan el proceso, entre ellas las más importantes son la composición química del suelo porque el terreno aporta la cantidad de hierro y de fósforo que determinarán el color del producto terminado, también el grado de acidez que finalmente afecta el color (verdeamiento), y afecta el proceso, dependiendo del terreno de donde provenga la caña, se obtendrá mayor o menor cantidad de agua, lo cual dificultará la evaporación. (Mosquera, Carrera, & Villada, 2007)

2.2 Indicadores de calidad

A lo largo de la fase de producción de la panela, existen indicadores de calidad que se encargan de poner en evidencia el estado de la materia prima en sus diferentes fases. Como lo menciona (Santamaría H. , 2012): "Un indicador es un cuantificador, que pone de manifiesto una dimensión conceptual y que al aplicarse produce un número, comúnmente empleado para comparar, evaluar, estimar o demostrar desempeños de una actividad". (Santamaría H. , 2012)4

Para que la panela pueda producirse correctamente deben existir requisitos mínimos, considerando indicadores como humedad, azúcares, impurezas, turbidez, color y minerales. (Hernández, 2014)

Tabla 2. Requisitos mínimos que debe tener la panela

Humedad	Máximo 7%
Azúcares	Mínimo 88%
Impurezas	Menor 0,4%
Turbidez (% de transmitancia a 620 nm)	Máx. 72%T
Minerales	Máximo 3%
Azufre	Negativo
Color, según abanico colorímetro para panela	Entre 5 a 10, mejor 7 y 8

Fuente: (Hernández, 2014)

2.3 Modelo matemático

Un modelo matemático es la expresión formal (en lenguaje matemático) de las relaciones entre los componentes de un modelo. La construcción de un modelo de este tipo implica la selección y cuantificación de los componentes, variables y relaciones presentes en el sistema para representarlo con el nivel de detalle requerido. Puede ser algo tan simple como sustituir las variables de una ecuación por sus valores reales o puede ser un conjunto complejo de ecuaciones interrelacionadas cuyas variables se ven modificadas a lo largo del tiempo y a través del espacio. (Maldonado, 2013)

2.3.1.1 Capacidad real de producción

Esta capacidad indica el manejo de cantidades de producción. (Santamaría H. , 2012) Se calcula dividiendo la masa de panela producida en kilogramos, entre un intervalo de tiempo (horas), transcurrido desde el encendido de la hornilla y la hora de salida del último punteo. (Santamaría H. , 2012)

2.4 OTROS MODELOS

La industria azucarera es la más cercana y relacionada con la panelera debido a sus similitudes no solo en ciertos procesos de obtención y producción, sino también en su aplicación y en algunos escenarios en la suplantación que pudiese existir una con la otra.

Para la obtención del azúcar se evidencian criterios de calidad que permiten identificar los indicadores por medio de modelos matemáticos que se apliquen de manera directa entre los principales se detallan a continuación.

2.4.1 Contenido de sacarosa

La fibra porcentaje caña determina la cantidad de bagazo, y por tanto, las pérdidas de sacarosa en el proceso de extracción, además, la no sacarosa en la caña incrementa en mayor o menor grado los niveles de miel final y por consiguiente las pérdidas de sacarosa cristalizable, afectando de esta forma la recuperación de azúcar comercial. (Calderón, 2014)

En Brasil se han establecido ecuaciones basadas en los análisis directos que permiten un mejor cálculo de la sacarosa porcentaje caña (Sc) a partir de los datos de sacarosa porcentaje jugo (Sj) y fibra porcentaje caña (F). (Calderón, 2014)

$$Sc = Sj\ x\ (1 - 0{,}01\ x\ F)\ x\ C$$

Donde

C = 1,031 – 0,00575 x F

El factor C es clave para determinación de sacarosa porcentaje caña y es necesario validarlo para cada ingenio o sector azucarero. El factor C depende del contenido y tipo de fibra, por lo que es un valor que varía en base al porcentaje de fibra de caña (F). El modelo matemático se ha obtenido a través del análisis de regresión lineal. (Calderón, 2014)

2.4.2 Humedad

El proceso de crecimiento y desarrollo de las plantas con un régimen hídrico de temporal se ve determinado en gran medida por la disponibilidad de humedad en el suelo, donde el suministro de agua es la lluvia. Para el caso de la caña de azúcar, es un cultivo notablemente tolerante en condiciones donde la sequía se hace presente y también al exceso de agua donde pueda mantener al sistema radicular prácticamente sumergido en agua. (Aguilar, 2009)

El índice de humedad es un indicador de la cantidad de agua que se pierde por la evapotranspiración y la cantidad de agua que se recupera por la lluvia. Para la caña de azúcar se ha estimado una evapotranspiración de 5 a 6.5 mm al día, agua que debe ser asimilable cuando las plantas lo necesiten y la mayor parte debe de provenir del suelo. (Aguilar, 2009)

$$\%\ humedad = \frac{masa\ inicial - masa\ final}{masa muestra}\ x\ 100$$

2.5 NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE

2.5.1 NORMAS TÉCNICAS ECUATORIANAS

2.5.1.1 INEN 2331

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en su Norma Técnica INEN 2331, la panela sólida debe cumplir ciertos requisitos para ser considerada apta para el consumo humano.

Tabla 3. Requisitos físico químicos para la panela sólida.

Fuente: INEN 2331

Requisitos	Valor		Métodos De Ensayo
	Mínimo	Máximo	
Humedad, fracción en masa en %	-	7,0	NTE INEN 265
Cenizas, fracción en masa en %	0,8	-	NTE INEN 267
Azucares reductores (glucosa), fracción en masa en %	5,5	-	AOAC 923.09
Proteínas, en % (N x 6,25)	0,5	-	NTE INEN 343
Calcio en mg/100 g	10,0	-	AOAC 985.35
Fósforo en mg/100 g	5,0	-	AOAC 995.11.
Hierro en mg/100 g	1,5	-	AOAC 985.35
Colorantes	Ausencia		NTC 1311

Tabla 4. Límite máximo de Contaminantes para la Panela.

Fuente: INEN 2331

Requisitos	Valor		Método De Ensayo
	Mínimo	Máximo	
Plomo expresado como Pb, en mg/kg	-	0,2	NTE INEN-ISO 6633
Arsénico expresado como As, en mg/kg	-	0,1	AOAC 986.15

Tabla 5. Requisitos microbiológicos para la panela.

Fuente: INEN 2331

Requisitos	n	m	M	C	Método De Ensayo
Recuento de mohos y levaduras, en UFC/g	5	200	150	2	NTE INEN-ISO 1529-10
en donde n = número de muestras que se van a analizar. m = parámetro normal M = valor máximo permitido c = número de muestras aceptadas con M					

2.5.1.2 INEN 2332

Tabla 6. Requisitos de la Panela Granulada.

Fuente: INEN 2331

Requisitos	Valor		Métodos de Ensayo
	Mínimo	Máximo	
Color T (550 nm)	30	75	NTE INEN 268
Azúcar Reductor %	5,5	10	NTE INEN 266
Sacarosa %	75	83	NTE INEN 266
Humedad %	--	3	NTE INEN 265
pH	5,9	--	

Tabla 7. Sólidos sedimentables y granulometría.

Fuente: INEN 2331

Panela		Pase al 100% por Tamiz

	Sólidos Sedimentables Max g/100 g de panela	Mm de abertura	No.
Extra	0,1	1,40	1
Primera	0,5	1,70	12
Segunda	1,0	2,00	10
Método de Ensayo	NTE INEN 388		

Tabla 8. Requisitos microbiológicos para la Panela Granulada.

Fuente: INEN 2331

REQUISITO	n	m	M	c	Método de ensayo
Recuento de mohos y levaduras upc/g	3	$1,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	2	NTE INEN 1529-10
En donde: n = número de muestras a analizar m = nivel de buena calidad M = valor máximo permitido c = Número de muestras aceptadas con M upc unidades propagadoras de colonias					

2.5.1.3 INEN 265

El contenido de humedad se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m} \; x\, 100$$

Siendo:

H = contenido de humedad en porcentaje de masa

m_1 = masa de cápsula, con la muestra, antes del calentamiento, en g.

m_2 = masa de la cápsula, con la muestra, después del calentamiento, en g.

m = masa de la muestra, en g.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,05%; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

2.5.1.4 INEN 266

El contenido de azúcar reductor se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$AR = \frac{m}{50}$$

Siendo:

AR = contenido de azúcar reductor, en el azúcar, en porcentaje de masa.

m = masa del azúcar reductor en 25 cm^3 de la solución, en miligramos

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,1 miligramo; caso contrario, debe repetirse la determinación.

2.5.1.5 INEN 268

Según esta norma para calcular el índice de atuenación en el azúcar se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$(A^*_c)420 = \frac{A^*_c}{bc} = \frac{-\log T_s}{bc}$$

Siendo:

(A*c) = índice de atenuación

Ts = transmitancia

b = longitud de cubeta en cm

c = concentración de sólidos totales en g/cm .

El color en unidades ICUMSA se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$c.u.l = (A^*_c)\ 420\ x\ 1000$$

Siendo:

c.u.l. = color en unidades ICUMSA

(A *c) = índice de atenuación.

2.5.2 NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES

2.5.2.1 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1311

La panela en bloque debe cumplir con los requisitos fisicoquímicos establecidos en la Tabla 9:

Tabla 9. Requisitos físico químicos para la panela en bloque.

Fuente: NTC 1311

Requisitos	**Valor**	
	Mínimo	**Máximo**
Humedad, fracción en masa en %	-	9,0
Cenizas, fracción en masa en %	0,8	-
Azucares reductores (glucosa), fracción en masa en %	5,5	-
Proteínas, en % (N x 6,25)	0,2	-
Potasio en mg/100 g	100,0	--
Calcio en mg/100 g	10,0	-
Fósforo en mg/100 g	5,0	-
Hierro en mg/100 g	1,5	-
Colorantes	Ausencia	

Tabla 10. Requisitos físico químicos para la panela granulada o pulverizada.

Fuente: NTC 1311

Requisitos	**Valor**	
	Mínimo	**Máximo**
Humedad, fracción en masa en %	-	5,0
Cenizas, fracción en masa en %	1,0	-
Azucares totales (sacarosa) , fracción en masa en %	--	93,0
Azucares reductores (glucosa), fracción en masa en %	5,0	--
Proteínas, en % (N x 6,25)	0,2	-
Potasio en mg/100 g	100,0	--
Calcio en mg/100 g	10,0	-
Fósforo en mg/100 g	5,0	-
Hierro en mg/100 g	1,5	-
Colorantes	Ausencia	

Tabla 11. Requisitos microbiológicos para la panela.

Fuente: NTC 1311

REQUISITO	**n**	**m**	**M**	**c**
Recuento de mohos y levaduras, en UFC/g	5	50	150	2
en donde n = número de muestras que se van a examinar m = parámetro normal. M = valor máximo permitido c = número de muestras aceptadas con M				

Tabla 12. Límite máximo de Contaminantes para la Panela.

Fuente: NTC 1311

REQUISITO	**Mínimo**	**Máximo**

Plomo expresado como Pb, en mg/kg	--	0,2
Arsénico expresado como As, en mg/kg	--	0,1
Sulfitos expresado como SO2, en mg/kg	--	< 0,05

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo de investigación se desarrolla y se realiza en la provincia de Pastaza, ciudad de Puyo tomando como referencia los centros y fábricas paneleras existentes que lleven a cabo su proceso de forma industrial y/o artesanal. Figura 3.



Figura 2. Mapa de la Provincia de Pastaza

Fuente: CS, 2011

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Investigación descriptiva

Por medio de una revisión bibliográfica la presente investigación fue descriptiva con un enfoque cuantitativo debido a que se recopiló e identificó todos los métodos para los indicadores de control de calidad de la panela. Su enfoque fue cuantitativo puesto que existe la bibliografía necesaria, pero pocos estudios empíricos sobre el tema.

3.3 Método de Investigación

Se recolectó información proveniente de revistas, tesis, normas, libros de diferentes bases de datos electrónicas como: PubMed, Scielo, SpringerLink, ScienceDirect y Google Académico. Esta información se basó en las distintas tecnologías para indicadores aplicados hacia la calidad de la panela.

La búsqueda bibliográfica se realizó en publicaciones tanto en inglés como en español y se desarrolló por medio de palabras claves que simpliquen los resultados a ser obtenidos, palabras como: *"panela", "indicadores de calidad", "modelos matemáticos", "calidad", "quality", "mathematical models".*

3.4 Identificación de los indicadores de calidad

Con la información recolectada, se procedió al análisis de cada uno de los modelos matemáticos para los indicadores del control de calidad de la panela. Se verificó con cada modelo matemático la aplicación que se emplea en cada proceso durante la elaboración de la panela, así mismo si dentro de cada etapa existen estudios suficientes que arrojen índices o indicadores de calidad para la panela; en caso que no se haya encontrado se discutirá y se recomendará realizar estudios más a profundidad que faciliten investigaciones futuras.

Los indicadores de calidad indetficados en la presente investigación se describen a continuación:

- Humedad
- Actividad del agua
- Sólidos solubles
- Madurez
- pH
- Capacidad de producción
- Temperatura
- Calor
- Color

3.5 Modelos matemáticos aplicados en el mejoramiento de la calidad de la panela

Los modelos matemáticos obtenidos durante la búsqueda bibliográfica en artículos, revistas, publicaciones, libros, entre otros, mismos que estén relacionados con los indicadores que mejoren

la calidad de la panela ahn sido plasmados como resultados de la investigación, de esta forma se determinó primeramente la existencia o no, de suficientes estudios experimentales para el mejoramiento de la panela como producto final, y finalmente si cada uno de los modelos matemáticos encontrados se aplican en la actualidad en procesos industriales y/o artesanales.

3.6 Cuadros comparativos de modelos matemáticos

Se elabororaron cuadros comparativos en los que se evidenció cada uno de los indicadores mostrados, sus valores y los respectivos modelos matemáticos que se han generado. Se escogió el/los modelos matemáticos más eficaces y eficientes para el control de calidad de la panela.

Finalizada la investigación bibliográfica se encontró la escasa información que validen los modelos matemáticos para indicadores de calidad en los procesos de producción panelera, enfatizando de este modo, realizar estudios experimentales que permitan desarrollar modelos que apliquen a este productivo derivado de la caña de azúcar.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

Una vez desarrollada la presente investigación, a través de la cual se planteó identificar los modelos matemáticos para los indicadores de calidad de la panela, se evidenció que aún existe mucho estudio experimental por realizar mediante ensayos, pruebas y formulación de parámetros matemáticos que mejoren la calidad y refinamiento de la panela como producto final, ya que en varios sectores productivos los procesos aplicados para la obtención de la panela aún se los realiza de manera artesanal, y en aquellos que ya han evolucionado de manera industrial y tecnificada aún no logran llegar al punto máximo en la calidad de la panela, esto puede presentarse debido a que no en todos los procesos y etapas de la producción panelera se logran aplicar criterios de calidad.

La revisión bibliográfica realizada en base a la metodología planteada, permitió identificar normas, parámetros, métodos y modelos matemáticos, mediante las cuales el sector panelero busca mejorar la calidad de la panela como producto final en función de los indicadores de calidad.

4.1.1 INDICADORES DE CALIDAD

4.1.1.1 HUMEDAD

El agua en los alimentos se encuentra en dos formas, como agua enlazada y como agua disponible o libre; el agua enlazada incluye moléculas de agua unidas en forma química, a través de puentes de hidrógeno a grupos iónicos o polares, mientras que el agua libre es la que no está físicamente unida a la matriz del alimento y se puede congelar o perder por evaporación o secado. Además puntualiza que el contenido de humedad es la totalidad de agua que está retenida en un alimento dado, y es de gran importancia por razones científicas, técnicas y económicas. (Kirk et al. 1999)

en alimentos la determinación del porcentaje de humedad se la realiza mediante el método de secado, determinándose la humedad por pérdida de peso debido a la evaporación de agua. Generalmente se expone a los alimentos a 105oC. Recalca que la panela es un producto higroscópico, esto significa que tiene la capacidad de adsorción de agua, esta propiedad es desfavorable porque conduce a la formación de aglomerados que limitan la posterior solubilidad de los azúcares. El porcentaje de humedad de panela granulada es un parámetro de calidad de gran

importancia, este valor se encuentra actualmente normalizado y debe tener un alcance máximo de 3%. (Mathlouthi, 2001)

La determinación de la humedad en los alimentos es un proceso muy importante ya que el contenido de humedad afecta la capacidad de procesamiento, la vida útil y la calidad del producto. Por lo tanto, esta determinación juega un papel clave para garantizar la calidad en muchas industrias. (De la Rosa Herrera, 2017)

En el *Estudio Comparativo de Diferentes Métodos para Determinar la Humedad en Matrices Alimentarias* (De la Rosa Herrera, 2017), se plantea un modelo matemático que permite determinar el porcentaje de humedad descrito a continuación:

$$\% \, Humedad = \frac{M_{agua}}{M_{muestra}} \frac{(M_1 - M_2) * 100}{(M_1 - M_0)}$$

Donde:

M_{agua}: masa de agua perdida por desecación.

$M_{muestra}$: Masa de muestra empleada en el análisis.

M_0= Masa del crisol y arena.

M_1= Masa del crisol, arena y muestra antes del desecado.

M_2= Masa del crisol, arena y muestra después del desecado.

Según la Norma Guatemalteca Obligatoria COGUANOR 34 028 se puede establecer un modelo matemático para determinar la humedad, este método se basa en la pérdida de masa que sufre la muestra al ser eliminada la humedad por secado al vacío. El contenido de humedad de las muestras se expresa en porcentaje en masa y se calucla con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{m_1 - m_2}{m} \; x \; 100$$

Donde:

C = Contenido de humedad de la muestra, en porcentaje en masa

m_1= Masa de la cápsula con la muestra húmeda, en gramos

m_2= Masa de la cápsula con la muestra seca, en gramos

m = Masa de la muestra húmeda, en gramos

4.1.1.2 ACTIVIDAD DEL AGUA

La actividad de agua (aw) es un indicador de cuan estrechamente esta ligada el agua, estructuralmente o químicamente a una sustancia. Es un parámetro intrínseco, estrechamente ligado a la humedad del alimento y es el mejor indicador de la perecibilidad. Se define como la relación que existe entre la presión parcial de vapor de agua en equilibrio contenida en el alimento (P) y la presión de vapor del agua pura en equilibrio (Po) a la misma temperatura ; siendo por esta razón un número sin unidades y con un valor que varía entre 0 y 1. (Pawkit, 2001)

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{HRE}{100}$$

Donde:

P = presión parcial de vapor de agua en un alimento a una temperatura específica

Po = presión de vapor de saturación del agua pura a la misma temperatura

(HRE) = humedad relativa en equilibrio a la misma temperatura

Además la disminución de la aw frena el crecimiento de microorganismos, las reacciones catalizadas por enzimas (principalmente hidrolasas) y el pardeamiento no enzimático. La única excepción la constituye la auto-oxidación de los lípidos cuya velocidad incrementa en el alimento seco. Los alimentos con aw comprendida entre 0,60 y 0,90 poseen una humedad intermedia y están protegidos de forma considerable frente a las alteraciones de microorganismos. Las bacterias se desarrollan a valores de aw entre 0,90 y 1,00; las levaduras a 0,80 y los mohos entre 0,70 y 0,75. (Acurio, 2010)

La a_w influye en: el color, olor, sabor, textura y vida útil de muchos productos, predice la seguridad o estabilidad con respecto al crecimiento microbiano, es el mejor indicador de la perecibilidad de

un alimento. La evaluación de la humedad relativa de equilibrio (HRE) es importante para productos de confitería, ya que predice su comportamiento y su vida útil. Cuando un caramelo tiene una (HRE) superior a la humedad relativa del ambiente, el producto cede humedad y cristaliza. (Acurio, 2010)

4.1.1.3 SÓLIDOS SOLUBLES

Dentro de la investigación respecto a los sólidos solubles como indicador de calidad de la panela tanto en 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 sencilla cuando se cuenta con el refractómetro, a los fines de controlar parámetros relacionados con la calidad del producto. Mujica et al (2008) reportan valores superiores de sólidos solubles totales en panles granuladas provenientes de variedades de caña Puerto Rico 61632 y Mayarí 5514 (96,4 Brix), mientras que Hernández y Amaya (2000) reportan valores relativamente más bajos (82,3 Brix). Por otra parte los valores estipulados por el Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá (2007) como requisitos para panela sólida va de 87 a 89 Brix y para la panela granulada de 90 a 94 Brix. (Solórzano, 2006)

La variación de la densidad en función de la temperatura, en el intervalo de operación de un evaporador de múltiple efecto es función de los sólidos solubles totales. La influencia de la temperatura en la densidad de hace despreciable para este caso en particular (Lopez Zaraza, 2016)

$$\rho = 0{,}956 + 0{,}005X$$

Dónde:

ρ = densidad de los jugos de caña. (g/cm^3)

X= Sólidos solubles totales. (°Brix)

En unidades inglesas se determina:

$$\rho = 59{,}69 + 0{,}31X$$

Dónde:

ρ = densidad de los jugos de caña. (lb/ft^3)

X= Sólidos solubles totales. (°Brix)

4.1.1.4 MADUREZ

Una altrenativa clara para el mejoramiento de la calidad de la panela es la implementación de Buenas Prácticas Agronómicas en activades de siembra, desarrollo de cultivo y cosecha para garantizar un producto con condiciones óptimas de calidad; también determinar el estado óptimo de madurez de la caña con mayor seguridad mediante registros históricos de su comportamiento, utilizando diferentes formatos, teniendo en cuenta las variedades sembra- das, la época de cultivo, composición del suelo y factores climáticos, complementados y comprobados con la medición de esta variable con un refractómetro. (Mosquera, 2007)

Para la medición del índice de madurez con el refractómetro en las cañas, antes de su corte se recomienda tomar una muestra representativa de diez cañas completas de las diferentes partes del lote que se va a moler, usando la siguiente formula:

$$índice de madurez = \frac{Promedio\ de\ °Brix\ parte\ terminal}{Promedio\ de\ °Brix\ parte\ basal}$$

Los resultados se expresarán como índice, de la siguiente forma:

°Brix menores a 0,95 = caña inmadura

°Brix mayores a 1,00 = caá sobremadura

°Brix entre 0,95 y 1 = caña madura

4.1.1.5 pH

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 389 el procedimiento a seguir para la determinación de la concentración del ION hidrógeno (pH) es el siguiente:

- **a)** Efectuar la determinación por duplicado sobre la misma muestra preparada.
- **b)** Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro.
- **c)** Colocar en el vaso de precipitación aproximadamente 10 g ó 10 cm^3 de la muestra preparada, añadir 100 cm^3 de agua destilada (recientemente hervida y enfriada) y agitar suavemente.
- **d)** Si existen partículas en suspensión, dejar en reposo el recipiente para que el Iíquido se decante.
- **e)** Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que éstos no toquen las paredes del recipiente ni las partículas sólidas, en caso de que existan.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,1 unidades de pH; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación. En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse además cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado. Deben incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra. (INEN 389)

Según el INEN (2002), los valores de acidez de un alimento en almacenamiento varían más ampliamente que el pH; los valores de acidez se constituyen como un indicador indirecto del deterioro. El ácido de mayor proporción en el jugo de caña y de importancia comercial es el ácido aconítico [C3H3(COOH)3], existe en un promedio de 1,54% del total de sólidos que generalmente presenta; alrededor de tres veces más del nivel de otros ácidos como: cítrico, málico, oxálico, glicólico, mesacónico, tartárico, succínico, fumárico, siríngico, etc.

4.1.1.6 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Al momento de realizar el proceso de molienda es importante validar la capacidad de producción que tiene el trapiche, la cual está definida como el volumen o la cantidad de caña que muele un trapiche en un tiempo determinado. Esta capacidad se mide en toneladas de caña por hora (TCH). La capacidad de molienda también está determinada por el abastecimiento regular de caña al molino, velocidad de las mazas y separación de las mazas (masa cañera – masa superior y masa bagacera). (Quezada, 2007)

Durante la extracción del molino se debe determinar el porcentaje de extracción en peso del jugo, con la siguiente fórmula:

$$\%Ep = (Pj/Pc)*100$$

Donde:

%Ep = porcentaje de extracción en peso
Pj = porcentaje del jugo extraido
Pc = peso de la caña

4.1.1.7 LEY DE ANTOINE - TEMPERATURA

Al reducir la temperatura de ebullición del líquido, aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición y por tanto aumenta la velocidad de transferencia de calor en el evaporador, este fenómeno se describe por la "Ley de Antoine", en donde, se establece una relación matemática que permite conocer la temperatura de ebullición de un líquido a diferentes presiones.

$$log\ P = A + \frac{B}{C + T}$$

Donde:

P = Presión de vapor (Pa)
A, B, C, = Constantes experimentales del líquido
T = Temperatura de ebullición (ºC)

4.1.1.8 CALOR

Para concentrar una sustancia, en este caso los jugos de caña, se realiza una evaporación de tal manera que se reduzca el porcentaje de agua y otras sustancias que se convierten en vapor, quedando en la sustancia que ebulle los jugos de caña más concentrados. Este proceso se realiza por intercambio de calor convectivo, al realizar el intercambio el volumen de los jugos iniciales disminuye por la evaporación que se realiza, la sustancia que suministra este calor es el vapor de caldera. Cuando el vapor de caldera entra al primer efecto se realiza el intercambio de calor, el cual se describe por la siguiente ecuación: (Ruiz, 2011).

$$Q = UA\Delta T$$

Donde:

Q = Intercambio de calor (W)

U = coeficiente global de transferencia de calor (W/ºC m2)

A = Área (m2)

ΔT = Diferencia de temperatura entre las dos sustancias (ºC)

El intercambio de calor por convección puede ser latente o sensible. El calor sensible hace referencia al calor que recibe un cuerpo, provocando el aumento de su temperatura sin afectar su estructura molecular y por tanto su estado. El calor latente es la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase o estado.

$$Q = WCp\Delta T$$

Donde:

Q = Intercambio de calor (J)

Cp = Calor específico (J/kgºC)

ΔT = Diferencia de temperatura entre dos sustancias (ºC)

W = masa (kg)

$$Q = \lambda W$$

Donde:

Q = Intercambio de calor (J)

λ = Calor latente de evaporación (J/kg)

W = Masa (kg)

4.1.2 COLOR

Cerda-Mejía en su artículo *Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada* realiza un análisis de las variables en la etapa de cristalización, descritos en la Tabla 13:

Tabla 13. Análisis de varianza de las variables de la etapa de cristalización.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor – p
Constante	559,68	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

Fuente: Cerda-Mejía, 2020

Igualmente plantea un modelo matemático para la determinación del color en la etapa de concentración:

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

En la etapa de cristalización el color inicial es significativo, por lo cual el color final de panela granulada se puede predecir con la siguiente ecuación:

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

El color es una medida subjetiva e importante de calidad, en la aceptación o rechazo en el consumidor en la indus- tria de alimentos. También puede determinarse por métodos objetivos como el modelo cromático CIE Lab, establecido por la Commission Internationale de d'Éclairage (CIE), donde L*a*b*, son valores que se representan en el espacio de manera tridimensional.

La diversidad de colores de la panela ecuatoriana, se debe fundamentalmente a que en las etapas de fabricación del producto, se operan sin criterios de calidad. (Lara, 2019)

Código	Color	$SO_4^=$ ppm	Nombre del color según Capsure	Cie		
				L*	a*	b*
P1		133	Marrón oliva claro	51	10,8	52,5
P2		125	Amarillo oliva claro	51	10,8	52,5
P3		226	Oliva claro	52,2	-1,3	39,4
P4		172	Marrón oliva moderado	37,8	7,2	35,3
P5		0	Amarillo moderado	72,6	6	45,5
P6		0	Amarillo anaranjado oscuro	62,8	15,3	50,4
P7		0	Amarillo anaranjado profundo	63,1	20,9	70,2
P8		0	Amarillo anaranjado brillante	83,7	17	66,3
P9		0	Amarillo anaranjado fuerte	74	20,9	73,7
P10		0	Amarillo fuerte	73,7	8	64,2
P11		0	Amarillo profundo	61	8,6	62,2
P12		0	Amarillo oscuro	61,7	5,4	44,6
P13		0	Amarillo grisáceo oscuro	60,3	3,7	28,1
P14		0	Marrón amarillento fuerte	49	16,6	52,1
P15		0	Anaranjado castaño	53,5	23,5	42,6
P16		0	Anaranjado brillante	74,5	33,4	65,6
P17		0	Anaranjado rojizo moderado	59,5	33,2	37,7
P18		0	Anaranjado rojizo profundo	60,2	47,6	64
P19		0	Anaranjado rojizo oscuro	44,5	31,4	35,5
P20		0	Anaranjado rojizo vivo	44,6	40,1	48
P21		249	Amarillo claro	89,3	4,2	50,6
P22		216	Amarillo verdoso fuerte	72,8	-5	64,9
P23		224	Amarillo verdoso profundo	59,9	-3,6	63,4
P24		256	Amarillo verdoso brillante	88,5	-5,3	68,8
P25		258	Amarillo verdoso vivo	82,8	-3,8	81,5
P26		354	Amarillo verdoso claro	89,5	-4,6	52,4
P27		272	Amarillo verdoso moderado	72	3,1	45,9
P28		0	Marrón amarillento grisáceo	47,7	4,9	14
P29		0	Marrón moderado	37,3	12	21
P30		0	Marrón fuerte	38,2	22,7	38,7
P31		0	Marrón anaranjado profundo	33,3	11	28,2
P32		0	Marrón amarillento moderado	46,1	8,2	25
P33		0	Marrón amarillento fuerte	49	16,6	52,1
P34		0	Marrón anaranjado oscuro	25,2	7,7	18,1
P35		0	Marrón amarillento grisáceo oscuro	26,7	4,2	8,8
P36		0	Marrón grisáceo	36,5	6,5	9,7
P37		0	Rojo grisáceo	29,1	9,8	4,2

Figura 3. Valoración de color y azufre en la panela.

Fuente: El color en la calidad de los edulcorantes

El abanico colorimétrico para la agroindustria panelera (ACAP), construido bajo el método basado en la escala de colores CIE-Lab utilizando el Pantone Palette X-rite, constituye una herramienta útil para el sector panelero y organismos de control con fines de aplicación ejecutiva, ya que

condensa información en cuanto al color de la panela obtenido por el método natural, permitiendo valorar la calidad del producto en cuanto a la presencia o no de sustancias químicas prohibidas especialmente del hidrosulfito de sodio en forma de (SO4=). (Lara, 2019)

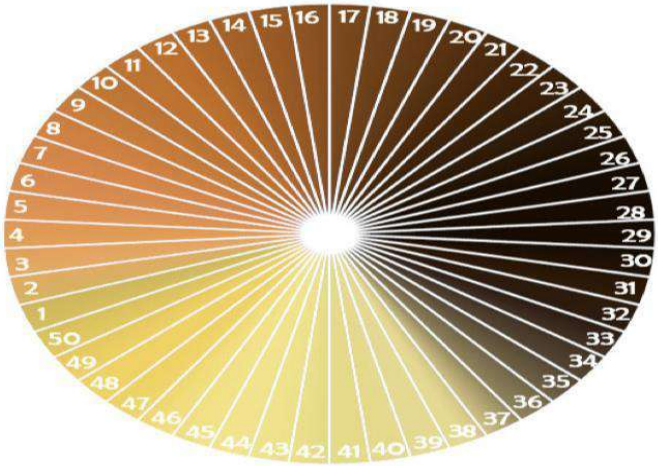


Figura 4. Abanico colorimétrico para la determinación del color en los edulcorantes. Fuente: El color en la calidad de los edulcorantes de la agroindustria panelera. (Galicia-Romero, 2017)

Clasificación de la panela	Panela	Color CIE L*a*b*
Panela de primera o amarilla		
Panela de segunda o comercial		
Panela de tercera o negra		

Figura 5. Clasificación de la panela conforme su color.

Fuente: El color en la calidad de los edulcorantes de la agroindustria panelera (Galicia-Romero, 2017)

4.1.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Los indicadores de calidad planteados ponen en evidencia modelos matemáticos que permiten ser aplicados en el proceso de obtención de la panela, los cuales sirven como referencia para otros estudios experimentales que beneficien y nutran investigaciones relacionadas al mejoramiento de la calidad de los derivados de la caña de azúcar.

En la tabla 14, se validó todos los modelos matemáticos que se aplican en diferentes procesos paneleros así como para determinar los indicadores de la calidad de la panela de acuerdo a la investigación realizada:

Tabla 14. Modelos matemáticos para indicadores de calidad.

No.	INDICADOR DE CALIDAD	MÓDELO MATEMÁTICO	PROCESO DE APLICACIÓN
1	Humedad	$\% Humedad = \frac{M_{agua}(M_1 - M_2) * 100}{M_{muestra}(M_1 - M_0)}$ $C = \frac{m_1 - m_2}{m} x100$ $H = \frac{m_1 - m_2}{m} x100$	Almacenamiento / Molienda
2	Sólidos Solubles	$\rho = 0{,}956 + 0{,}005X$ $\rho = 59{,}69 + 0{,}31X$	Concentración
3	Azúcar Reductor	$AR = \frac{m}{50}$	Concentración
4	Madurez	$índice\ de\ madurez = \frac{Promedio\ de\ °Brix\ parte\ terminal}{Promedio\ de\ °Brix\ parte\ basal}$	Corte y transporte / Almacenamiento
5	pH	No se indentificó un modelo matemático específico para este indicador de calidad	Concentración / Punteo
6	Capacidad de producción	$\%Ep = (Pj/Pc)*100$	Concentración
7	Ley de Antoine - Temperatura	$\log P = A + \frac{B}{C + T}$	Concentración
8	Calor	$Q = UA\Delta T$	Concentración

		$Q = WCp\Delta T$ $Q = \lambda W$	
6	Color	$color = -10679{,}6 + 2069{,}52 * pH + 20{,}082 * tiempo\ de\ concentración - 8{,}9434 * temperatura\ final + 69{,}2559 * temperatura\ inicial$ $color\ final = 559{,}688 + 0{,}913911 * color\ inicial - 64{,}4582 * pH + 124{,}853 * tiempo\ de\ agitación + 31{,}2631 * temperatura\ final - 20{,}039 * temperatura\ inicial$ $(A^*_c)420 = \frac{A^*_c}{bc} = \frac{-logT_s}{bc}$ $c.u.l = (A^*_c)\ 420\ x\ 1000$	Concentración Cristalización Colorificación / Concentración
7	Actividad del agua	$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{HRE}{100}$	Concentración

Fuente: Elaboración propia, 2021

4.1.4 SISTEMATIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

La investigación arrojó resultados no previstos tomando en cuenta que los métodos tradicionales aplicados para la obtención de la panela, están lejos de alinearse con modelos matemáticos que permitan mejorar la calidad en el proceso industrial y en el producto final; además de ello se puede verificar que no todas las etapas del proceso productivo panelero contienen indicadores de calidad que permitan registrar en este estudio, dando paso a que la investigación quede abierta a proyectos futuros de índole experimental, mediante los cuales se determinen nuevos modelos matemáticos para indicadores de la calidad de la panela.

Posterior al proceso investigativo y revisión bibliográfica, podemos determinar la existencia de indicadores de calidad para varios productos similares a la panela como es el azúcar refinado, en el que si se han realizado estudios experimentales mediante los cuales se ha llegado a modelar matemáticamente ecuaciones que permitan aplicarse en procesos de mejora en el producto final;

estos indicadores podrían aportar en gran medida al estudio panelero de aplicarse experimentalmente.

Al no contar con modelos matemáticos extensos desarrollados hasta la actualidad que permitan mejorar la calidad de la producción de la panela mediante sus indicadores, se manifiesta que los modelos matemáticos empleados en otros productos de similares aplicaciones, pueden formar parte del proceso industrial para la obtención de la panela.

Los pocos resultados obtenidos a pesar de la investigación impide realizar una comparación de entre los modelos matemáticos que mejor se adaptaran en la calidad panelera, dando paso de este modo a continuar con estudios que beneficien el mejoramiento de este producto derivado de la caña de azúcar, tomando en cuenta la importancia que tiene la panela como suplemento endulzante amazónico.

4.2 CONCLUSIONES

- La investigación realizada para el presente estudio, permitió indentificar aquellos indicadores de calidad existentes para un producto derivado de la caña de azúcar como lo es la panela, estos indicadores de calidad, humedad, actividad del agua, sólidos solubles, madurez, pH, capacidad de producción, temperatura, calor y color, se utilizan en cada una de las etapas y procesos industriales, tanto en empresas tecnificadas como artesanales para la obtención de la panela derivada de la caña de azúcar.

- Por medio de tablas y figuras se planteó enunciados y recopilación bibliográfica de modelos matemáticos asociados a indicadores de calidad de la panela, igualmente dentro de la investigación realizada, se verificó la existencia de modelos matemáticos de productos de similar aplicación que podrían ser utilizados en la obtención de la panela.

- Gracias a la investigación se puede considerar que los modelos matemáticos que mejor se adaptan a los indicadores de calidad son aquellos que determinan la humedad y el color; la primera debido a su mínima concentración que se requiere en el producto final, y la segunda por la importancia que esta prefiere al determinar la presencia de ciertas sustancias químicas en la panela.

4.3 RECOMENDACIONES

- Los indicadores de calidad planteados en la presente investigación, forman parte fundamental en procesos que ya se aplican para productos que tienen una misma o similar aplicación como la panela, por lo cual sería importante asumir estos indicadores como referencia para el mejoramiento de calidad en la producción panelera.

- Dar continuidad a la investigación de proyectos similares que desarrollen nuevos modelos matemáticos para aplicar en los procesos de obtención de la panela, promoviendo la competitividad y posicionamiento tanto en el mercado nacional como extranjero.

- Propiciar a estudiantes y profesionales que realicen estudios experimentales con la panela como producto derivado de la caña de azúcar, partiendo de la información que actualmente se dispone para determinar la calidad de estos productos y tener un abanico amplio de alternativas matemáticas, de esta forma enriquecer los procesos industriales y elevar los estándares de calidad de la panela.

REFERENCIAS

Quezada, W. (2007). *Guía Técnica de Agroindustria Panelera.* Ibarra. Obtenido de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/934/1/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20Agroindustria%20Panelera.pdf

Santamaría, H. (2012). Evaluación mediante evaluadores productivos y energéticos de tres módulos de producción de panela granulada. *PIRHUA*, 2-10. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262107936_Evaluacion_mediante_indicadores_productivos_y_energeticos_de_tres_modulos_de_produccion_de_panela_granulada

Maldonado, L. (2013). *El modelamiento matemático en la formación del ingeniero.* Bogotá: Universidad Central. Obtenido de https://www.oas.org/cotep/GetAttach.aspx?lang=En&cId=632&aid=936

Marcelo, D., La Madrid, R., & Hans, S. (2014). Evaluación mediante indicadores productivos y energéticos de tres módulos de producción de panela granulada. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262107936_Evaluacion_mediante_indicadores_productivos_y_energeticos_de_tres_modulos_de_produccion_de_panela_granulada

Dávila, D. (2019). CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA EN LA EMPRESA "EL GIGANTE" MEDIANTE DOCUMENTACIÓN DE PROCESOS. *USC.EDU.CO*. Obtenido de https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/1207/CONTROL%20DEL%20PROCESO.pdf;jsessionid=83C7A06D3E215AF646B818DFD90AEEA6?sequence=1

Díaz, A., & Iglesiar, C. (2012). Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542012000100010&script=sci_arttext&tlng=en

Padra, L., Sánchez, Z., García, H., & Rojas, H. (2012). Hornillas paneleras Ward-CIMPA-Validación de los modelos matemáticos de diseño Corpoica-UIS. *Dialnet*. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4811185

Díaz, A., & Iglesias, C. (2014). Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la caña de azúcar como objeto de la extracción de su jugo para la producción de panela. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542014000200003&script=sci_arttext&tlng=pt

Mujica, M., & Guerra, M. S. (2008). Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada. *Interciencia*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/339/33933808.pdf

Rueda, F., Peñaranda, L., Velásquez, W., & Díaz, S. (2015). Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). *Dialnet*, 25-40. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624746

Jaramillo, R., Gordillo, G., & Toro, J. (2005). Determinación de parámetros que permitan optimizar el flujo de jugo en un ntercambiador pirotubular para la industria panelera. *Prospectiva*, 76-84.

Quezada, W., & Gallardo, I. (2014). Clarificación del jugo de caña mediante el empleo de plantas mucilaginosas. *ICIDCA*, 41-48. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/2231/223132853007.pdf

Quezada. (2007). *REDI.UFASTA.* Obtenido de http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/771/2014_N_020.pdf?sequence=1

Rodrígues, I. G. (1993). *http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/452/Gallegos_Rodriguez_Ignacio.pdf?sequence=1*.

Padilla, R. J. (2012). *https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1119/TRABAJO_DE_GRADO_RUBY_BARAJAS%20(2).pdf?sequence=1*.

Benalcázar, T. A. (2015). *http://repositorio.utn.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/4079/1/03%20EIA%20363%20TESIS.pdf*.

Santamaría, V. C. (2018). *http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1442/VCSM_2018.pdf?sequence=1*.

Peñaranda, H. M. (2012). *https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24841/u615389.pdf?sequence=1*.

Lara, J. F. (2019). *Implementación de un sistema de control de calidad para el proceso de producción de panela granulada en la agroindustria panelera "El Valle"*. doi:10.18502 / keg.v3i1.1409

Shiguango, J. P. (2020). *Propuesta de Producción más Limpia en la molienda "La Industria".*

Palacio, F. R. (2016). *PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE PANELA GRANULADA EN EL SECTOR DE CHINGUILAMACA PARROQUIA PURUNUMA CANTÓN GONZANAMÁ.*

Mosquera, S. A., Carrera, J. E., & Villada, H. S. (2007). *https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117629*.

Hernández, C. M. (2014). *ESTRATEGIAS PARA AUMENTAR LAS UTILIDADES DE LA PRODUCCIÓN PANELERA EN COLOMBIA.*