



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL USO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL *Opuntia ficus-indica* Y LA TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE CAÑA SOBRE EL COLOR DE LA PANELA.

**Proyecto de tesis presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniera Agroindustrial**

Autora: María Del Carmen Loyo Godoy

Director: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz

Ibarra – Ecuador

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL USO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL *Opuntia ficus-indica* Y LA TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE CAÑA SOBRE EL COLOR DE LA PANELA.

Tesis revisada por los Miembros del Tribunal, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Luis Armando Manosalvas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS



FIRMA

Ing. Marco Lara, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Alexandra Jácome Ortega, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Nicolás Pinto, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003566492
APELLIDOS Y NOMBRES:	Loyo Godoy María Del Carmen
DIRECCIÓN:	Juan Martínez de Orbe y Honduras 10-92
EMAIL:	marialoyo_26@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	0991817132
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL USO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL <i>Opuntia ficus-indica</i> Y LA TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE CAÑA SOBRE EL COLOR DE LA PANELA.
AUTOR:	Loyo Godoy María Del Carmen
FECHA: AAAMMDD	02/03/2018
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
DIRECTOR	Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc.

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, María Del Carmen Loyo Godoy, con cedula de identidad número 1003566492, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra de trabajo de grado descrita anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material como apoyo a la educación, investigación y extensión; en coordinación con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar los derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los dos días del mes de marzo del 2018

Autora:

.....

Loyo Godoy María Del Carmen

C.C. 1003566492

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Loyo Godoy María Del Carmen, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Armando Manosalvas Quiroz', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc

DIRECTOR DE TESIS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL
NORTE**

Yo, Loyo Godoy María Del Carmen, con cedula de identidad Nro. 1003566492, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6 , en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL USO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL *Opuntia ficus-indica* Y LA TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE CAÑA SOBRE EL COLOR DE LA PANELA**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los dos días del mes de marzo del 2018


.....

Loyo Godoy María Del Carmen

CC. 1003566492

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y la desarrolló, sin violar los derechos de autor de terceros, por lo tanto, es original y soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los dos días del mes de marzo del 2018



.....
Loyo Godoy María Del Carmen

CC. 1003566492

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Luis Loyo y Laura Godoy,

Por ser el eje y motor principal de mi vida, a quienes debo mi existencia y todo lo que hoy soy.

A mis hermanos: Diego B., Alfredo B. y Daniela L.,

Por ser mi mayor ejemplo de sacrificio y perseverancia guiándome siempre en cada paso de mi vida.

A mi director Ing. Luis Manosalvas, y asesores Ing. Sandra Gavilanes, Ing. Nicolás Pinto e Ing. Alexandra Jácome,

Por su apoyo, paciencia y dedicación en el desarrollo de esta investigación.

Eternamente agradecida con Dios por permitirme culminar mi carrera universitaria, dejándome no solo una profesión y conocimientos catedráticos, sino también por regalarme vivencias y anécdotas a lo largo de este caminar, en el que encontré personas valiosas e inolvidables a quienes guardare en mi memoria y corazón por el resto de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	5
1.4.1. HIPÓTESIS NULA	5
1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. CAÑA DE AZÚCAR <i>Saccharum officinarum</i> L	6
2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	6
2.1.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	7
2.1.3. CAÑA DE AZÚCAR EN EL ECUADOR.....	7
2.1.4. VALOR NUTRICIONAL	8

2.1.5. VARIEDAD CENICAÑA	10
2.2. PANELA.....	11
2.2.1. AGROINDUSTRIA PANELERA NACIONAL.....	11
2.2.2. VALOR NUTRITIVO	12
2.2.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN ARTESANAL DE LA PANELA	12
2.3. PROCESO DE CLARIFICACIÓN	18
2.3.1. PRINCIPIOS DE LA CLARIFICACIÓN	18
2.3.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CLARIFICACIÓN	18
2.3.3. ETAPAS DE LA CLARIFICACIÓN	21
2.4. NOPAL <i>Opuntia ficus-indica</i>	23
2.4.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	23
2.4.2. PRODUCCIÓN DEL NOPAL EN EL ECUADOR.....	24
2.4.3. HÁBITAT	24
2.4.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	24
2.4.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA	26
2.4.7. USOS	27
2.4.8. OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO	28
CAPÍTULO III.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. LOCALIZACIÓN.....	33
3.2. MATERIA PRIMA, MATERIALES Y EQUIPOS.....	34
3.2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS	34

3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS	34
3.3. MÉTODOS	35
3.3.1. CARACTERIZACIÓN DEL CLADIOLO DE NOPAL Y CAÑA DE AZÚCAR.....	35
3.3.2. EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MUCÍLAGO Y TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA.....	40
3.3.3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL JUGO CLARIFICADO Y ORGANOLÉPTICAS DE LA PANELA.	43
3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO	44
3.4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	50
3.4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	44
CAPÍTULO IV	51
RESULTADOS Y DISCUSIONES	51
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	51
4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL CLADIOLO DE NOPAL.....	51
4.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	53
4.2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN.	55
4.2.1. COLOR.....	55
4.2.2. TURBIDEZ.....	61
4.2.3. CANTIDAD DE CACHAZA GENERADA	66
4.2.4. pH	71
4.2.5. DENSIDAD	74

4.2.6. °Brix	77
4.3. ANÁLISIS DE COLOR EN LA PANELA	81
4.4. EVALUACIÓN SENSORIAL	82
4.5. BALANCE DE MATERIALES	86
4.4.1. BALANCE DE MATERIALES DEL MUCÍLAGO DE NOPAL	86
4.4.2. BALANCE DE MATERIALES DE PANELA.....	86
4.6. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	87
CAPÍTULO V.....	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
5.1. CONCLUSIONES	88
5.2. RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la caña de azúcar.....	7
Tabla 2. Composición nutricional de la caña de azúcar	8
Tabla 3. Taxonomía del nopal	24
Tabla 4. Composición química del nopal	26
Tabla 5. Componentes activos del mucílago de nopal	27
Tabla 6. Usos del nopal	28
Tabla 7. Ubicación y datos meteorológicos del área de experimentación.	33
Tabla 8. Variables cuantitativas del nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	35
Tabla 9. Variables cuantitativas del jugo de caña puro	35
Tabla 10. Descripción de tratamientos	42
Tabla 11. Esquema del análisis de varianza	42
Tabla 12. Variables cuantitativas y cualitativas en el jugo clarificado y en la panela	43
Tabla 13. Variables cuantitativas del cladiolo de nopal	52
Tabla 14. Características físico químicas del jugo de caña	53
Tabla 15. Datos experimentales de luminosidad	56
Tabla 16. Análisis de varianza para luminosidad	57
Tabla 17. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (luminosidad).....	58
Tabla 18. Prueba de DMS sobre el factor A (luminosidad).....	59
Tabla 19. Prueba DMS sobre el factor B (luminosidad)	59
Tabla 20. Datos experimentales de turbidez.....	61

Tabla 21. Análisis de varianza para turbidez.....	63
Tabla 22. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (turbidez).....	64
Tabla 23. Prueba DMS para el factor A (turbidez).....	64
Tabla 24. Prueba DMS para el factor B (turbidez).....	65
Tabla 25. Datos experimentales de cantidad de cachaza generada.....	67
Tabla 26. Análisis de varianza para cantidad de cachaza generada	68
Tabla 27. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (cantidad de cachaza generada)	69
Tabla 28. Prueba DMS para el factor A (cantidad de cachaza generada)	69
Tabla 29. Prueba DMS para el factor B (cantidad de cachaza generada)	70
Tabla 30. Datos experimentales de cantidad de pH	72
Tabla 31. Análisis de varianza para cantidad de pH.....	73
Tabla 32. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (pH).....	74
Tabla 33. Datos experimentales de densidad	75
Tabla 34. Análisis de varianza para la densidad	76
Tabla 35. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (densidad).....	77
Tabla 36. Datos experimentales de cantidad de °Brix	77
Tabla 37. Análisis de varianza para cantidad de °Brix.....	79
Tabla 38. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (°Brix).....	79
Tabla 39. Prueba DMS para el factor A (°Brix)	80
Tabla 40. Prueba DMS para el factor B (°Brix)	80
Tabla 41. Costos del proyecto	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedad Cenicaña 84-75	10
Figura 3. Molino de rodillos	13
Figura 2. Proceso artesanal de la panela	17
Figura 4. Proceso de extracción del mucílago de nopal.....	29
Figura 5. Recepción del nopal	30
Figura 6. Limpieza de cladiolos	30
Figura 7. Cortado	31
Figura 8. Pelado	31
Figura 9. Macerado.....	32
Figura 10. Filtrado del mucílago de nopal.....	32
Figura 12. Recepción de caña	45
Figura 13. Molienda de caña.....	45
Figura 14. Limpieza del jugo de caña.....	46
Figura 15. Calentamiento del jugo de caña	46
Figura 16. Clarificación del jugo de caña	47
Figura 17. Agitación rápida.....	47
Figura 18. Agitación leve	47
Figura 19. Sedimentación.....	48
Figura 20. Descachazado.....	48
Figura 21. Pesado de impurezas.....	49

Figura 22. Análisis de muestras	49
Figura 11. Proceso de clarificación de jugo de caña	50
Figura 23. Datos experimentales de luminosidad.....	56
Figura 24. Interacción AxB (luminosidad)	60
Figura 25. Datos experimentales de turbidez.....	62
Figura 26. Interacción AxB (turbidez)	66
Figura 27. Cantidad de cachaza generada durante la clarificación	67
Figura 28. Interacción AxB (cantidad de cachaza generada).....	71
Figura 29. Datos experimentales de pH.....	72
Figura 30. Datos experimentales de densidad.....	75
Figura 31. Datos experimentales de °Brix.....	78
Figura 32. Análisis de color en la panela	81
Figura 33. Puntuación de color en la panela	82
Figura 34. Puntuación de olor en la panela	83
Figura 35. Puntuación de sabor en la panela.....	84
Figura 36. Puntuación de dureza en la panela.....	85
Figura 37. Puntuación de aceptabilidad en la panela	85
Figura 39. Balance de materiales del mucílago de nopal	86
Figura 40. Balance de materiales de la panela.....	87

RESUMEN

La panela es un edulcorante natural obtenido de manera artesanal a través de la concentración del jugo de caña por medio de la evaporación en los llamados “trapiches”, representando una parte importante de emprendimientos de muchas zonas rurales en la provincia de Imbabura.

El uso desmedido de clarificantes en el proceso de elaboración de la panela, en especial del Hidrosulfito de Sodio, permite plantear como alternativa de cambio, el mucílago obtenido de las pencas de nopal *Opuntia ficus-indica*, el cual muestra su efectividad como clarificante para sólidos suspendidos presentes en el jugo de caña, lo que ayuda finalmente a mejorar la apariencia del color en la panela, siendo la característica principal para su aceptación en el mercado. En la presente investigación se evaluó la influencia que tiene el mucílago en la clarificación del jugo sobre el color de la panela. Se aplicó un diseño completamente al azar y un testigo, con dos factores: la cantidad de mucílago y temperatura de clarificación. Los efectos obtenidos se evaluaron mediante análisis físico-químicos de color (luminosidad), turbidez, cantidad de cachaza generada, pH, densidad y ° Brix en el jugo clarificado y organolépticas de color, olor, sabor, dureza y aceptabilidad en la panela.

De los siete tratamientos estudiados, destacaron como mejores el tratamiento tres y seis, afirmando que el empleo del mucílago de nopal, incide sobre el color que la panela presente debido a la capacidad que tiene el mucílago estudiado para aglomerar partículas suspendidas y sedimentarlas como cachaza, obteniéndose así jugos más claros y, por ende, panelas aceptadas por el consumidor.

SUMMARY

The panela is a natural sweetener product obtained from the concentration of cane juice by means of evaporation, in the so-called "trapiches paneleros" in a traditional way, representing an important part of many rural areas in the province of Imbabura.

The excessive use of chemicals in the panela, in particular the sodium hydrosulfite in the process of clarification, allows one to suggest an alternative of the change, the tube obtained from the opuntia ficus-indica cactus, which shows its effectiveness as a clarifier for solids suspended in the cane juice, which finally helps to improve the appearance of the color in the panela, being the main characteristic for its acceptance in the market. In the present investigation the influence of the mucilage on the clarification of the color of the panela juice was evaluated. A completely randomized design and a control were applied, with two factors: the amount of mucilage and the clarification temperature. The effects obtained were evaluated by physicochemical analysis of color (luminosity), turbidity, amount of cachaza generated, pH, density and °Brix in clarified juice and organoleptic color, odor flavor, texture and acceptability in the panela.

Finally, of the seven treatments studied, the best treatments were three and six, it was determined that the use of the nopal mucilage affects the color of the panela, due to the capacity of the mucilage studied for the suspended agglomerate particles and to sediment them as cachaza, thus obtaining clearer juices and, therefore, clearer panela accepted by the consumer.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

Según Pincay (2010), en el Ecuador existen alrededor de 70.000 hectáreas de cultivo de caña de azúcar, en donde alrededor de 6000 familias se dedican al procesamiento artesanal de panela y aguardiente.

En los últimos años los trapiches dedicados a la producción de panela han quedado inapreciados debido a que sus procesos son artesanales sin contar con un control de parámetros en cada etapa de la producción y a los costos en los que incurren. Dentro de estas etapas una de las más importantes para garantizar la calidad del producto final en cuanto al color es la clarificación.

En este proceso, la agroindustria panelera se ve obligada a usar productos químicos que satisfagan las altas exigencias del consumidor en cuanto a color de la panela; es así como el problema no sólo radica en los inconvenientes que tienen las pequeñas asociaciones para producir panela sin clarificantes artificiales y que sea aceptada en el mercado, sino también en que el consumidor asocia el color oscuro de la panela con la falta de inocuidad de la misma.

A través de esto, se presenta el uso desmedido de hidrosulfito de sodio en el proceso productivo de la panela como sustancia decolorante del jugo de caña, sin tomar en cuenta que puede llegar a ser altamente nocivo para la salud del consumidor.

Mesa (2011), encuentra que esta sustancia provoca la pérdida del valor nutricional de algunos alimentos debido a la capacidad que tienen los sulfitos para descomponer la vitamina B1 y que, a largo plazo, podría provocar un déficit de vitaminas en el organismo. Es por este motivo que el uso de sulfitos debe permanecer restringido al mínimo nivel necesario tecnológicamente.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos tiempos, la importancia del consumo de productos naturales y nutritivos ha ido tomando fuerza a nivel mundial, en donde los procesos productivos se ven obligados a responder a las exigencias del mercado, evitando el uso de componentes químicos nocivos para la salud con el aprovechamiento de los recursos naturales propios del país aportando así a la transformación de la matriz productiva.

En la agroindustria rural panelera por ser de carácter artesanal tienen la necesidad de impulsar cambios hacia la tecnificación e inherente calidad de sus productos y buscar la competitividad con alternativas de mejora continua para el crecimiento y desarrollo.

La calidad de la panela se ve principalmente afectada por el color que ésta presenta, y es una de las características más importantes para la aceptación del producto en el mercado; por esto es necesario controlar los factores que afectan su color en el proceso de clarificación de jugo de caña.

Como alternativa de cambio de la Agroindustria panelera se ha visto la necesidad de sustituir productos químicos por mucílagos propios de la parroquia de Salinas como agentes clarificantes; por ello esta investigación busca evaluar el uso del

mucílago de nopal en el proceso de clarificación del jugo de caña por su alta efectividad y potencial nutritivo.

El nopal, un producto de fácil cultivo y cosecha, posee múltiples beneficios nutricionales, debido a que es una fuente importante de vitaminas A, C, K, B2, B6 y minerales que aportan al metabolismo y digestión del organismo, así como también tiene efectos antiinflamatorios y antioxidantes, razón por la cual, el usarlo en el proceso de clarificación en panela, aportaría numerosos beneficios a nivel nutricional en el consumidor.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los efectos del uso del mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* y la temperatura en la clarificación de jugo de caña sobre el color de la panela.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar mediante análisis físico-químicos el nopal *Opuntia ficus-indica* y el jugo de caña.
- Evaluar la cantidad de mucílago de nopal y la temperatura en el proceso de clarificación de jugo de caña sobre el color de la panela.
- Evaluar las características físico-químicas del jugo clarificado y organoléptico de la panela.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS NULA

Ho: La cantidad de mucílago de nopal y la temperatura en la clarificación del jugo de caña no influyen en las características físico-químicas del jugo y organolépticas de la panela.

1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Ha: La cantidad de mucílago de nopal y la temperatura en la clarificación del jugo de caña influyen en las características físico-químicas del jugo y organolépticas de la panela.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. CAÑA DE AZÚCAR *Saccharum officinarum* L

La caña de azúcar *Saccharum officinarum* es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las poáceas, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que mediante su extracción y cristalización se forma el azúcar, además representa una actividad productiva y posee varios subproductos, entre ellos la producción de energía eléctrica derivada de la combustión del bagazo, alcohol de diferentes grados como carburante o farmacéutico. Días y Potocarrero (2002)

El nombre de *Saccharum* significa (grava negra) en referencia a los cristales de azúcar que se forman en el jarabe oscuro al extraer los jugos de la caña.

2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La caña de azúcar *Saccharum officinarum* L presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Tabla 1. Taxonomía de la caña de azúcar

Caña de azúcar <i>Saccharum officinarum</i> L	
Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Angiospermae
Sub-clase:	Monocotyledoneae
Súper Orden:	Commelinidae
Orden:	Commelinales
Familia:	Poaceae
Género:	Saccharum
Especie:	Officinarum L.

(Innvista, 2002).

2.1.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El azúcar y la caña de azúcar se mencionan en antiguos textos mitológicos y poéticos indios entre los años 100 y 800 A. C. y en textos legislativos entre el 200 A. C. y 200 D. C, siendo uno de los cultivos más antiguos del mundo, se desconoce su verdadero origen ya que hay versiones que aseveran que la caña de azúcar es originaria de la India, sin embargo en la actualidad se adapta la historia al surgimiento de la caña de azúcar a Nueva Guinea debido al hallazgo de la mayor variedad de caña y el favorable clima tropical.

En 1493, Cristóbal Colón introdujo la caña de azúcar al continente americano, traída de Canarias y sembrada en la Isla Española, fue llevada por los navegantes y los conquistadores a las regiones del Caribe y Sudamérica con más énfasis en Brasil, México, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Aristizábal (2015)

2.1.3. CAÑA DE AZÚCAR EN EL ECUADOR

La caña de azúcar es un cultivo importante en Ecuador distribuidos en las provincias de Guayas, Cañar, Los Ríos, Imbabura, Azuay y Loja, siendo la cuenca

baja del río Guayas el lugar donde se concentra el 92% de la producción. Ávila (2011).

La superficie sembrada de caña de azúcar según lo indica Pincay (2010) fue de 72.000 Has. (cifras 2005) de las cuales el 60 %, 43.200 Has. es de propiedad de cañicultores y el 40 % restante, 28.800 Has. pertenece a los ingenios.

Este cultivo es la materia prima principal para la elaboración de azúcar entre otros derivados. Es un producto que forma parte de la canasta básica de los ecuatorianos y es ingrediente fundamental de muchos alimentos elaborados y semielaborados de consumo masivo. Genera una fuente de mano de obra en forma directa o indirecta a través de los ingenios azucareros, los cultivadores de caña, y pequeñas industrias a nivel nacional.

2.1.4. VALOR NUTRICIONAL

Los componentes químicos presentes en la caña de azúcar varían de acuerdo con la variedad de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. De manera general se compone principalmente de 73-76% de agua, 8-15% de sacarosa, y del 11-16% de Fibra. (Ávila 2011).

Evidentemente, la que se encuentra en mayor proporción es la sacarosa, seguida de la fructosa y glucosa, aunque también pueden estar presentes oligosacáridos y polisacáridos según sea la edad de la caña y la descomposición originada por el apilamiento de la misma en los patios antes de la molienda. Marín (2012).

Tabla 2. Composición nutricional de la caña de azúcar

NUTRIENTES	CANTIDAD
Energía	70%
Humedad	72%
Sacarosa	15%
Fibra	11%
Proteína	0.10%
Grasa Total (g)	0.10%
Colesterol (mg)	-
Glúcidos	0.18%
Fibra (g)	0
Calcio (mg)	4%
Hierro (mg)	0.30%
Yodo (µg)	-
Vitamina A (mg)	0
Vitamina C (mg)	3%
Vitamina D (µg)	-
Vitamina E (mg)	0
Vitam. B12 (µg)	-
Folato (µg)	0

(Fundación Universitaria Iberoamericana 2005)

En el jugo extraído existen apreciables cantidades de lípidos conformados por las ceras, resinas y grasas en forma de partículas grandes o coloidales. Como tienen densidades bajas tienden a permanecer en la parte superior de los materiales en forma de nata. Según la Guía Tecnológica de Corpoica 3 (2004) “El contenido de lípidos totales de la caña, en base seca, es de 0.69% en las hojas, 0.38% en los tallos, 0.54% en las raíces y 2.01% en las semillas”.

Se presenta además compuestos polifenólicos, como los flavonoides, los cuales son pigmentos naturales vegetales más relevantes de la caña de azúcar que tienen estructuras de C₆C₃C₆ que se extraen de los tallos al momento de la molienda, estos aumentan rápidamente el color de los cristales de sacarosa cuando el pH de

las soluciones oscila entre 7.0 y 9.0. Algunos fenoles son incoloros en la caña, pero al oxidarse o reaccionar con aminos producen sustancias coloreadas.

2.1.5. VARIEDAD CENICAÑA

Los tallos son largos, erectos, rectos, delgados, de color morado claro cuando jóvenes y violáceo verdoso al madurar. Su hábito de crecimiento es erecto; las hojas poseen un color verde intenso y pelusa poca y rala. Tiene un rendimiento del 60%, con una maduración temprana de 12 a 14 meses. (figura 1).



Figura 1. Variedad Cenicaña 84-75

Los tallos presentan rajadura de corteza y tienden a inclinarse. Este material es de amplia adaptación en las zonas paneleras. Se comporta bien en una gama extensa de formaciones de suelos, tolera suelos ácidos con alta saturación de aluminio. La germinación es excelente, el crecimiento vigoroso y la floración casi nula.

Produce jugos y panela de buena calidad, y mieles de excelente viscosidad y color; ofrece buenas posibilidades para la obtención de nuevos usos y otras presentaciones del producto, como panela instantánea, panela granulada, pastilla o

cubos. En campo, se caracteriza por producir altos volúmenes de biomasa aprovechables en el proceso agroindustrial y alimenticio. FAO (2007)

2.2. PANELA

Quezada (2007), define que la panela “es un producto sólido moldeado, obtenido de la concentración del jugo de la caña, de color café claro, de sabor dulce y aroma característico. Es un edulcorante compuesto en gran proporción por sacarosa y en pequeña cantidad por azúcares invertidos y minerales” (p.43).

2.2.1. AGROINDUSTRIA PANELERA NACIONAL

En Ecuador la agroindustria panelera se encuentra diseminada a lo largo y ancho del territorio ecuatoriano y está dirigida por pequeños y grandes productores de caña. Las provincias más destacadas en esta actividad son: Imbabura, Bolívar, Pichincha, Pastaza, Manabí, Guayas, Napo, Morona Santiago y otras en menor cantidad. Freire y Landázuri (2011), p.2.

La exportación de panela en el Ecuador ha tenido una tendencia exponencial a partir del 2007, lo que denota gran interés en el país por su potencial de inserción en los mercados internacionales, lo cual genera impactos positivos en las economías locales a lo largo de toda la cadena productiva donde solamente el cultivo de caña represento en el año 2012 el 8% de PIB agrícola y genero más de 191000 empleos. Pro Ecuador (2013).

Por otra parte, las condiciones agroclimáticas en la provincia de Imbabura han favorecido a que la producción de caña de azúcar abastezca a la industria azucarera y pequeños trapiches de panela, alcanzando ser uno de los principales ingresos locales. Las zonas dedicadas a esta agroindustria en Imbabura se ubican en los cantones de: Ibarra (Salinas, Ambuquí), Antonio Ante (Atuntaqui), Cotacachi (Intag, Apuela, El Cristal y García Moreno) y Urcuquí (Tumbabiro y Pablo Arenas).

2.2.2. VALOR NUTRITIVO

En el valor nutricional de la panela tienen incidencia numerosos factores que van desde la variedad de caña utilizada, el tipo de suelo y las características climáticas, hasta la edad, el sistema de corte y las condiciones del proceso de producción.

Entre los grupos de nutrientes esenciales de la panela deben mencionarse el agua, los carbohidratos, los minerales, las proteínas, las vitaminas y las grasas. Entre los principales minerales que contiene la panela figuran; el calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), cobre (Cu), hierro (Fe) y fósforo (P), como también trazas de flúor (F) y selenio (Se). Cuenta también con grandes aportes de vitamina A y vitaminas del complejo B. Linares (2012).

2.2.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN ARTESANAL DE LA PANELA

El proceso que se lleva a cabo después del corte de la caña para la producción de panela se describe a continuación:

2.2.3.1. *Recepción de la materia prima*

Se recibe la caña cortada en el trapiche panelero. Para esto, la caña debe cumplir con un requisito de madurez medido a través de cantidad de azúcares presentes en la caña, factor que depende de diferentes variables como son el manejo del cultivo, clima, variedad de caña, entre los más importantes. El tiempo máximo que la caña debe permanecer en almacenamiento es de 3 días debido a que el proceso de inversión de la sacarosa afectara directamente a la calidad del producto dando como resultado una panela húmeda y blanda.

2.2.3.2. *Molienda*

Osorio (2007), encuentra que la caña se somete a compresión en los rodillos o mazas del molino, lo cual propicia la salida del contenido del líquido de los tallos.

Los productos finales de esta fase son el “jugo crudo” y el “bagazo”; el primero, es la materia prima que se destina a la producción de panela, mientras el segundo se emplea como material combustible para la hornilla después de secado (p.113).

Para la selección del molino, principalmente se debe tomar en cuenta la capacidad de producción de la planta y la potencia que éste requiere.

- **Molino de rodillos**

El molino consta de tres rodillos moledores grandes, los cuales se mantienen a presión sobre un mecanismo giratorio con forma de disco sobre el que existe una huella. El material a moler se introduce a través de una boca de alimentación ubicada al costado de la estructura principal. A medida que el material es molido por los rodillos, se va desplazando por fuerza centrífuga, hacia los bordes del sistema giratorio, ubicándose en el perímetro. Revista Acero Latinoamericano (2015)



Figura 2. Molino de rodillos

2.2.3.3. *Pre-limpieza*

Según Osorio (2007), en esta etapa se retiran impurezas gruesas de carácter no nutricional, se retiene por precipitación una importante proporción de los sólidos

contenidos en el jugo de la caña, como son partículas de tierra, lodo y arena; simultáneamente, y por flotación las partículas livianas como bagacillo, hojas, insectos, etc.

- **Pre-limpiadores**

Son decantadores que por diferencia de densidad separa las partículas en suspensión. Deben estar cubiertos para evitar la caída de impurezas mayores que dificultan el buen funcionamiento del equipo.

Las impurezas flotantes se deben retirar varias veces durante la molienda; también se deben retirar periódicamente los tapones de los orificios inferiores para evacuar los lodos acumulados en el fondo del decantador.

- **Mallas filtrantes para jugo**

García , Albarracín, y Toscano (2007) indican que pueden ser mallas plásticas o de tela a manera de lienzo que se ubican a la salida jugos sobre la paila recibidora y eliminan las impurezas que no son separadas en el decantador.

2.2.3.4. Neutralización

En este proceso también llamado encalado se agrega una solución de cal en una proporción de 1:1 al jugo de caña, el objetivo de la neutralización es estabilizar el pH del jugo que se encuentra ácido para evitar la inversión de sacarosa. Además, este proceso favorece a la coagulación de sólidos en el jugo de caña.

2.2.3.5. Clarificación del jugo

López, Osorio, y Delgado (2005) definen que la clarificación de los jugos de caña es un punto crítico que se realiza por adición de flocculantes a partir de aditivos químicos y/o mucílagos vegetales, que son sustancias obtenidas de tallos, hojas o frutos de algunas plantas naturales, las cuales se maceran y se mezclan en el agua formando una sustancia mucilaginosa, y compuestos químicos como los sulfitos, que al aplicarse al jugo de caña a una temperatura adecuada, atrapa los sólidos

insolubles presentes en el jugo formando flóculos de mayor tamaño (cachaza) que pueden retirarse por medios físicos con el propósito de obtener un jugo más limpio. Este proceso debe estar acompañado de una correcta agitación para que los componentes activos del clarificante reaccionen con los sólidos del jugo, haciendo que se aglutinen hasta su suspensión y sedimentación.

2.2.3.6. *Descachazado*

Una vez que el agente clarificante atrapa la mayor parte de partículas insolubles formando la cachaza, misma que flocula y se sedimenta en lodos, se procede a separarla del jugo clarificado mediante un filtro. El jugo circula a la paila recibidora y la cachaza se cocina en un recipiente especial para producir melote.

2.2.3.7. *Evaporación*

Terminada la clarificación, se inicia la evaporación del agua aumentando de esta manera la concentración de azúcares en los jugos.

Cuando los jugos alcanzan un contenido de sólidos solubles adquieren el nombre de mieles, y se inicia la concentración. La evaporación del agua contenida en los jugos por calentamiento a 112° C permite alcanzar la concentración de sólidos apropiada para la consolidación y el moldeo de la panela entre 110 y 120° C. La eficiencia térmica de la hornilla tiene su repercusión en la calidad final del producto. Osorio (2007)

2.2.3.8. *Control de la concentración*

Bolívar (2009), plantea que esta es la etapa más crítica de todo el proceso, ya que las temperaturas empleadas son relativamente altas. Aquí la inversión de la sacarosa tiende a duplicar los azúcares reductores. Se deberá obtener entonces un punto entre 118°C-125°C y sólidos solubles entre los 88 y 94°Bx determinándose por la consistencia, color y densidad de las mieles.

Esta fase tiene lugar en la paila concentradora, agregándose a la miel agentes antiadherentes como son los aceites vegetales, para evitar que ésta se pegue a las paredes de la paila (p.13).

2.2.3.9. Batido

Para Villalta (2012), “se realiza con un agitador de madera con la finalidad de blanquear, disminuir la humedad, enfriarla y evitar que se quemé para iniciar la cristalización de los azúcares” (p.49). Con una agitación adecuado de la miel, se garantiza que pierda capacidad de adherencia y adquiera la dureza para el moldeo.

2.2.3.10. Moldeo

Una vez la miel alcance una concentración de 65° Brix, se procede al moldeo, donde se aprecia la cristalización y presenta una nueva textura, se dispone en moldes, adquiere su forma definitiva y se solidifica. Con la ayuda de palas de madera, el pesador distribuye la panela en los moldes” Osorio (2007), p.123.

2.2.3.11. Secado y empaque

En este proceso, una vez que la panela pueda mantener su forma a las tres horas de secado se retiran los moldes y se colocan en mesones para dejar enfriar para su posterior empaque ya sea individualmente en fundas de polietileno o directamente en cajas de cartón según los requerimientos del cliente.

2.2.3.12. Almacenamiento

García (2007), expresa que la panela se almacena en cuartos cerrados a temperatura ambiente mientras es transportada a la bodega donde se comercializa, allí es almacenada sobre estibas para evitar el deterioro de los empaques por roedores e insectos.

Recomienda durante el almacenamiento tener en cuenta tres factores que afectan la calidad del producto:

- Grado de higroscopicidad del producto
- Temperatura del cuarto de almacenamiento
- Humedad relativa del ambiente

La panela es un producto higroscópico, por lo cual dependiendo del lugar donde se encuentre, la temperatura y la humedad relativa del ambiente absorbe o libera humedad alterando sus características organolépticas, y permitiendo el ataque de microorganismos específicamente hongos y levaduras (p.75).

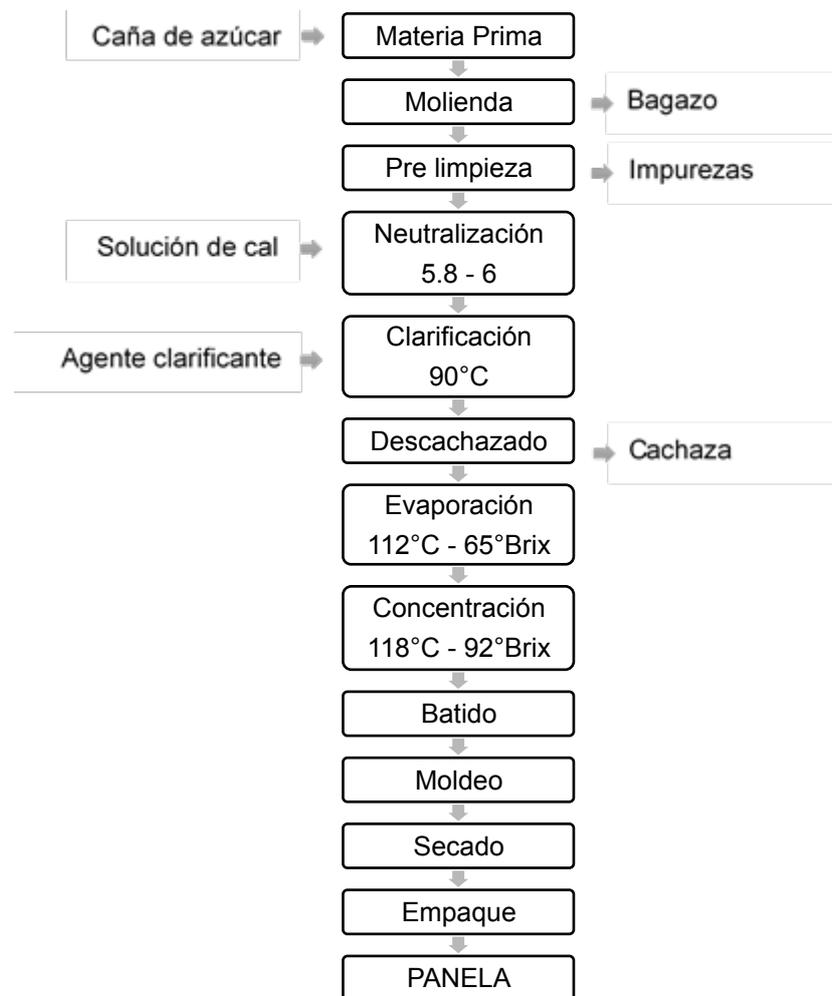


Figura 3. Proceso artesanal de la panela

2.3. PROCESO DE CLARIFICACIÓN

La turbidez y el color son las variables fundamentales para el calcular el índice de clarificación, causado por la aglomeración y sedimentación de partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas son suspensiones estables de difícil sedimentación natural, que permanecen en el líquido por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Cárdenas (2000)

2.3.1. PRINCIPIOS DE LA CLARIFICACIÓN

La clarificación se basa principalmente en la adición de un agente coagulante y floculante aplicando energía en la agitación, indispensable para la acción de los agentes que neutraliza las cargas electrostáticas de los coloidales suspendidos en el líquido, permitiendo su aglomeración hasta formar macropartículas de fácil sedimentación que puedan ser eliminadas por filtración.

El objetivo de este proceso es obtener un jugo claro de color amarillo brillante, transparente y sedimentar todos los precipitados (cachaza) formados en el encalado para producir un jugo cristalino.

2.3.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CLARIFICACIÓN

2.3.2.1. Agentes coagulantes

Los coagulantes compuestos químicos que se adicionan al líquido con el objetivo de lograr la carga de las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), para que se sedimenten de manera rápida.

Los coagulantes más comunes que se usan en el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico. Quintana (2000).

Entre el grupo de sustancias conocidas que poseen estas propiedades aglomerantes se encuentran también algunos compuestos orgánicos de origen vegetal, los cuales

pueden obtenerse del tallo o las semillas de una enorme variedad plantas. Villabona, Paz, y Martínez (2013) p.138

Quezada y Gallardo (2014) experimentaron la efectividad del empleo de 14 plantas musilaginosas para clarificar el jugo de caña. Para ello realizaron soluciones a 50° y 90°C y concentraciones de 2 y 8 % en relación al total de jugo. La Yausabara *Pavonia sepium* A. St-Hil, Yausa *Abutilon insigne* Planch, Cadillo negro *Triumfetta lappula* L y Falso Joaquín *Hibiscus rosa sinensis*, fueron las que arrojaron los mejores resultados como agentes clarificadores en las cuales se obtienen jugos clarificados claros y brillantes, aspectos importantes para la calidad del producto final.

Ortiz, Solano, Villada, Mosquera, y Velasco (2011) evaluaron el poder floculante en jugo de caña de 3 plantas mucilaginosas: balso *Heliocarpus popayanensis*, cadillo *Triumpheta lappulay* guácimo *Guazuma ulmifoliase*. Se evaluó la retención de sólidos insolubles frente a un floculante sintético, obteniéndose como concentración ideal de 0,03% p/v de cadillo que presenta mayor eficiencia de precipitación de sólidos solubles con un 93.6%.

Demera *et al.*, (2015) trabajaron con mucílagos naturales tales como el mucílago de corteza de cacao y mucílago de muyuyo *Cordia Lutea* evaluando su concentración óptima para el proceso de clarificación. Demostraron estadísticamente que el tratamiento de mucílago de corteza de cacao a una cantidad de 13000 mg/L removi6 la mayor cantidad de sólidos en suspensión.

2.3.2.2. Temperatura

Es importante tomar en cuenta que para que el proceso de clarificación sea efectivo, hay que tener un control adecuado en cuanto a rangos de temperatura a las cuales se somete al líquido, ya que es el factor más importante para lograr que las partículas insolubles reaccionen con el clarificante, haciendo que estas coagulen y floculen en forma de cachaza.

Muchas investigaciones demuestran que en el caso de clarificación de jugo de caña, se obtiene mejores resultados aplicando temperaturas cercanas a las del punto de ebullición, así lo demuestra Quezada y Gallardo (2014) en su investigación, la cual en su empleo de mucílagos naturales en la clarificación del jugo de caña, se removieron los no azúcares presentes en el jugo por efecto de la coagulación de los mucílagos (cachaza negra) a temperaturas de 91 a 93 °C, mientras que la cachaza blanca se retiró a temperaturas superiores a la temperatura de ebullición del jugo (>93 °C).

Sin embargo, Castro (2010) obtiene resultados favorables en su proceso de clarificación de jugo de caña a temperatura de 80°C con la adición de CaCO₃, que además de regular el pH del jugo, mejoró notablemente el color y turbidez del jugo. De la misma manera lo afirma Cobo, Aparico, y Solano, 2014, empleando temperaturas de 82°C dando resultados favorables de color y grano de la panela

2.3.2.3. *Agitación*

El tiempo de agitación está relacionado directamente con el número de colisiones entre las partículas suspendidas en el líquido a clarificar necesarias para la formación de flóculos.

Según Marín (2012) la agitación permite la homogenización entre los componentes que se adicionan para preparar la solución floculante. Además, ayuda durante la maduración a que las cadenas del floculante se extiendan y activen eficazmente. Se debe tomar en cuenta el tiempo en la aplicación de agitación rápida ya que la velocidad acelerada influye en la estructura por rompimiento en la cadena de flóculos.

La velocidad a lo largo del proceso de clarificación debe ser constante, así lo rectifican autores como Cogollo (2010), quien indica que para lograr una adecuada clarificación en la formación de floculos de mayor tamaño es necesario

reducir la agitación inicial del clarificador de revoluciones por minuto, lo cual se obtiene un menor tiempo en la sedimentación de las partículas.

Tanto el tiempo como la velocidad de agitación, pueden variar dependiendo de la composición fisicoquímica del líquido, es así como Yanez y Rodríguez (2010) en su investigación de aglutinantes naturales para la clarificación del vino, utilizan velocidades de agitación entre los 90 y 180 rpm en periodo constante de 5 min, otras investigaciones de Olivero (2014) demostraron la eficiencia que tiene el mucilago extraído de la tuna *opuntia ficus indica* en la remoción de turbidez a una velocidad de agitación de 200 rpm; las cuales difieren de Cogollo (2010) quien utilizando el clarificante químico hidroxiclورو de aluminio emplea una velocidad constante de 6 rpm.

2.3.3. ETAPAS DE LA CLARIFICACIÓN

La clarificación incluye los subprocesos de coagulación, floculación y sedimentación.

2.3.3.1. Coagulación

Es el proceso de formación de pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente. Ghafari, Abdul, Hasnain, y Akbar (2008)

Comienza en el mismo instante en que se agrega el coagulante y dura solo fracciones de segundo. Desde el punto de vista electrostático, el propósito de la coagulación es reducir la potencial zeta por adición de iones específicos e inducir la desestabilización de las partículas para aglomerarlas Suárez (1987).

Autores como Andía (2000) expresan que la coagulación es el tratamiento más eficaz para la eliminación de impurezas, también puede representar un gasto elevado cuando no se realiza adecuadamente. La dosis de coagulante condiciona

el funcionamiento de las unidades de sedimentación y es imposible realizar una buena clarificación si la cantidad de coagulante no es la adecuada

2.3.3.2. Floculación:

El proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado floculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Operativamente, la floculación se consigue recurriendo a una mezcla moderada y prolongada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico en otras suspendidas, discretas y visibles Pradilla (2004).

Sedimentación: es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado Cogollo y Rhenals (2003). Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación.

Este proceso que se ha utilizado tanto en sistemas de tratamiento de aguas municipales con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales que comprenden el tratamiento individual del agua proveniente de acueductos municipales de acuerdo con su uso final, ya sea agua para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, lavado de envases, etc.

No se encontraron investigaciones realizadas empleando mucílago de nopal para este proceso, es por esto que se busca obtener un coagulante natural, a partir del nopal *Opuntia ficus indica* útil para la remoción de la turbidez y el color en jugo de caña.

2.4. NOPAL *Opuntia ficus-indica*

Roman (2007), expresa que “Tuna es el nombre común dado en países de América Latina a la planta científicamente denominada *Opuntia ficus-indica*, proveniente de la familia Cactaceae. En otras partes del mundo también es conocida tunera, nopal, pita, penca, higuera de chumbo, higuera de pala, o chumbera” (p.2).

El nopal en la actualidad, gracias a sus potencialidades por sus numerosos modos de industrialización, ha despertado interés en numerosos países, en especial en América Latina, donde tiene fácil adaptabilidad a sus condiciones climáticas.

2.4.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

Sáenz(2006), expresa que el nopal es originario de América tropical y subtropical, hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre.

Es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres.

En estos países, se encuentra parte de las más de 5.000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat (p.2-3).

2.4.2. PRODUCCIÓN DEL NOPAL EN EL ECUADOR

Albujá K. (citado en Clerque y Gudiño, 2010), señaló que, en Ecuador, en las zonas de Cotopaxi, Tungurahua, y Chimborazo se encuentra distribuido las plantaciones de nopal tanto silvestres como cultivadas. En la provincia de Imbabura, en las zonas de Juncal, Valle del Chota, Salinas, cuenca del río Mira que están a 1800 metros de altura, con una temperatura de 20°C y con una precipitación anual de 300 a 700mm se encuentra una diversidad de cultivo de nopal (p.19)

2.4.3. HÁBITAT

Estudios de la FAO (s.f.), muestran que el nopal generalmente crece con facilidad en zonas desérticas, en suelos sueltos, arenosos calcáreos en tierras marginales y poco fértiles. Se desarrolla a temperaturas entre 12 a 34°C, con un rango óptimo de 11 a 23°C y con una precipitación promedio entre 400 a 800 mm. Crece desde el nivel del mar hasta los 3.000 m.s.n.m. Su mejor desarrollo lo alcanza entre los 1.700 a 2.500 m.s.n.m.

2.4.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El nopal *Opuntia ficus-indica* presenta las siguientes características:

Tabla 3. Taxonomía del nopal

NOPAL <i>Opuntia ficus-índica</i>	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Género	Opuntia
Especie	ficus-indica
Nombre científico	Opuntia ficus-indica

Fuente: (Amaya, 2009)

Amaya (2009), describe las principales características de cada una de las partes del nopal:

- **Tallo:** El tallo y las ramas están constituidos por pencas o cladodios con apariencia de cojines ovoides y aplanados, unidos unos a otros, pudiendo en conjunto alcanzar hasta 5 m de altura y 4 m de diámetro. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (p.4).
- **Hojas:** Sólo en cladodios internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en su base, para defensa; las caducas sólo se observan sobre tallos tiernos. Cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las aréolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas. (p.5).
- **Flores:** Son solitarias, localizadas en la parte superior de la penca, de 6 a 7 cm de longitud. Cada aréola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, unas pueden brotar el primer año, otras el segundo y tercero. Las flores se abren a los 35 a 40 días de su brotación. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco. (p.6).
- **Frutos:** El fruto es una baya polisperma, carnosa, de forma ovoide esférica, sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud. Son comestibles, agradables y dulces. El fruto es de forma cilíndrica de color verde y toma diferentes colores cuando madura; la pulpa es gelatinosa conteniendo numerosas semillas (p.7).

2.4.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química del nopal es muy variable en función de la especie, edad de las raquetas y época del año. Por sus características adaptativas a ambientes áridos el nopal independientemente del género presenta bajos niveles de materia seca y proteína cruda. La grande riqueza está en sus altos niveles de carbohidratos no estructurales y materia mineral. Torres (2010)

Tabla 4. Composición química del nopal

COMPONENTE	CANTIDAD
Energía	27 kcal
Humedad	94,56 %
Mucílago	4,73%
Carbohidratos	5.60 %
Proteinas	1.70 %
Carotenoides	1,63 mmol
Hierro (mg)	1.60 %
Clorofila	0,85 %
Calcio (mg)	0.93 %
Grasa	0.30 %

Fuente: (Maki-Dias, y otros, 2014)

2.4.6. MUCÍLAGO DEL NOPAL

Las pencas de nopal excretan una sustancia “viscosa” llamada mucílago, este es uno de los componentes más importantes ya que forma parte de la fibra dietética. El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol.

Tabla 5. Componentes activos del mucílago de nopal

COMPONENTE	CANTIDAD
Arabinosa	35-40%
Galactosa	20-25%
Xilosa	25%
Ramnosa	7%
Ácido galacturónico	8%

Sarahí (2014)

Estos componentes son polímeros heterogéneos con un gran número de enlaces covalentes y no covalentes que presentan cierta rotación y flexibilidad al movimiento. Gracias a su gran capacidad de retención de agua, producen partículas coloidales formando una red tridimensional molecular actuando como agentes de suspensión de sólidos en líquidos, además de modificar propiedades como viscosidad, elasticidad y textura. Salvador (2006).

2.4.7. USOS

El nopal gracias a sus potenciales de industrialización tiene numerosas aplicaciones en muchas industrias por sus frutos y cladodios.

El nopal y los cladodios se conservan y transforman aplicando tecnologías equivalentes de procesamiento, entre ellos: alimentos en base al fruto, formulaciones para enriquecer nuevos alimentos como aditivos naturales (gomas, colorantes) tanto para la industria alimentaria como farmacéutica y cosmética Sáenz (2006) p.18.

Tabla 6. Usos del nopal

SECTOR	PRODUCCIÓN
Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano	Producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y analcohólicas de nopal y nopalitas
Industria farmacéutica	Protectores gástricos de extractos de mucílagos, cápsulas y tabletas de polvo de nopal
Industria cosmética	Cremas, champús, lociones de cladodios
Industria de suplementos alimenticios	Fibra y harinas de cladodios
Industria productora de aditivos naturales	Gomas de cladodios; colorantes de la fruta naturales
Sector de la construcción	Compuestos ligantes de los cladodios
Sector energético	Producción de biogás a partir de las pencas
Sector productor de insumos para la agricultura	Productos del nopal como mejoradores del drenaje de suelos
Sector turismo	Artesanías en base a cladodios lignificados
Industria textil	Uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla

Fuente: Sáenz (2006)

Sin duda, la posibilidad de utilización integral de esta especie es de especial atractivo e interés para el sector agroindustrial, ya que toda industria busca obtener el máximo provecho de sus materias primas.

2.4.8. OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO

Para extraer el coagulante natural del nopal se aplicó un procedimiento similar al sugerido por Morejón (2016). La metodología general involucra tres etapas, las cuales consisten en un troceado de la penca, macerado y filtrado.

Tras el lavado para la eliminación de impurezas que traigan del campo, estas pencas se cortan en trozos aproximados de 5 cm, para que por medio del proceso de maceración con agua desprendan su mucílago en estado de reposo por alrededor de 12 horas.

Por último, la filtración de este macerado da como resultado la separación de la corteza y del mucílago del nopal listo para ser ocupado en el proceso de clarificación de jugo de caña.

Diagrama de bloques del mucílago de nopal

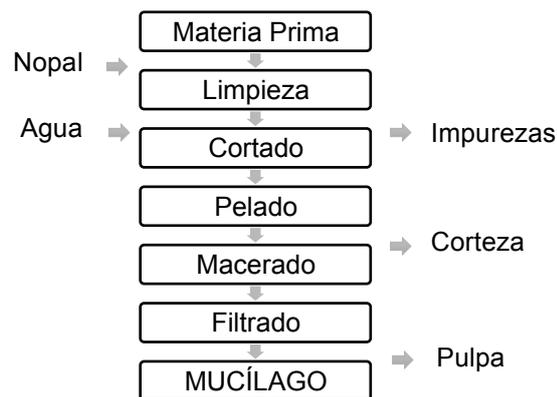


Figura 4. Proceso de extracción del mucílago de nopal

2.4.8.1. Descripción del proceso

- **Recepción:** Una vez que se ha cosechado los cladiolos de Nopal de una edad aproximada de 2 años, se procede a la recepción en el lugar de procesamiento.



Figura 5. Recepción del nopal

- **Limpieza:** Es importante utilizar guates de caucho al realizar la limpieza, misma que la realiza con la ayuda de un cuchillo retirando las espinas que está presente.



Figura 6. Limpieza de cladiolos

- **Cortado:** Tras la limpieza, se procede a cortar el cladiolo en cuadros aproximados de 5cm.



Figura 7. Cortado

- **Pelado:** Para mayor facilidad de extracción del mucílago, se retira la corteza de los trozos de cladiolos, quedando así la pulpa lista para el siguiente proceso.



Figura 8. Pelado

- **Macerado:** En este proceso, se vierte agua en un recipiente y se agrega la pulpa del Nopal 1:1 y se deja en reposo por aproximadamente 12h.



Figura 9. Macerado

- **Filtrado:** Una vez transcurrido este tiempo, se procede a filtrar el macerado con la ayuda de un lienzo en un recipiente, dejando de lado la pulpa se obtiene el producto final el mucílago de nopal.



Figura 10. Filtrado del mucílago de nopal

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se desarrolló en las Unidades Eduproductivas de la Carrera de Agroindustria y los análisis se realizaron en el laboratorio de análisis físico-químicos y microbiológicos de la Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

Tabla 7. Ubicación y datos meteorológicos del área de experimentación

PROVINCIA	IMBABURA
Cantón	Ibarra
Parroquia	El Sagrario
Lugar	Unidades Eduproductivas F.I.C.A.Y.A.
Dirección	Calle Ulpiano de la Torre
Temperatura	22 °C
Altitud	2220 m.s.n.m

Fuente: Centro de Monitoreo del Clima de la PUCESI 2016

3.2. MATERIA PRIMA, MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS

- Caña
- Nopal *Opuntia ficus-indica*

3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

- Trapiche
- Decantadores
- Cocina
- Gas
- Agitador de madera
- Lienzo
- Utensilios
- Moldes
- Balanza
- Termómetro
- Refractómetro M1310499
- Espectrofotómetro de Reflectancia (modelo Specord 250 plus)
- Turbidímetro Hanna 93703 C
- pH-metro Hanna 93703 C
- Densímetro

3.3. MÉTODOS

3.3.1. CARACTERIZACIÓN DEL CLADIOLO DE NOPAL Y CAÑA DE AZÚCAR.

En el nopal *Opuntia ficus-indica* se determinaron variables detalladas en la tabla 8 y el jugo de caña puro fue evaluado con las variables que se muestran en la tabla 9.

Tabla 8. Variables cuantitativas del nopal *Opuntia ficus-indica*

VARIABLES CUANTITATIVAS	MÉTODO
Humedad %	Estufa de Aire
Proteína %	Método de Kjeldahl
Grasa %	Método Soxhlet
Fibra %	AOAC 978.10
Cenizas %	AOAC 923.03
pH	pH-metro Hanna 93703 C
Ca %	Absorción Atómica
K %	Absorción Atómica
Fe %	Absorción Atómica

Tabla 9. Variables cuantitativas del jugo de caña puro

VARIABLES CUANTITATIVAS	MÉTODO
Color (Luminosidad)	Espectrofotometría CIELab
Turbidez	Nefelométrico
pH	Nefelométrico
Densidad	AOAC 962.37
°Brix	AOAC 932.14

3.3.1.1. Determinación de Humedad

Siguiendo el Método de la AOAC de la Estufa de Aire, se pesa 10 g de muestra en una cápsula y se calienta a 105°C hasta que esté totalmente seca. Se la colocó en el desecador por al menos 20 min hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Se pesó la muestra seca y por diferencia de peso, se calcula:

$$\text{humedad \%} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Dónde: m1 = g de la cápsula vacía y de su tapa

m2 = g de la cápsula tapada con la muestra antes del secado

m3 = g de la cápsula con tapa más la muestra desecada

3.3.1.2. Determinación de Proteína

Mediante el método Kjeldhal, se pesó en un papel encerado y se colocó en un tubo de digestión de 250ml, se añadió una pastilla de digestión y se adicionó ácido sulfúrico concentrado para homogenizarlo.

Se colocó la muestra en el digestor y se calentó con un incremento de la temperatura paulatinamente hasta que la muestra adquiriera un color azul verdoso cristalino.

Se destiló la muestra con ácido bórico y un indicador adicionando hidróxido de sodio hasta que este se tornó café.

Terminado el proceso de destilación se retiró el tubo y desechó los residuos en un recipiente. Se realizó la titulación a la muestra con ácido clorhídrico 0.1 normal hasta que la solución se tornara violeta.

Con el volumen consumido se procede a calcular:

$$mg N = N \times V \times 14$$

$$\text{Proteína \%} = \frac{P_2}{P_0} \times 100 \times F$$

Dónde: N = Normalidad del ácido de valoración

V = Volumen de ácido consumido

14 = Peso atómico del nitrógeno.

P2 = Nitrógeno (mg).

P0 = Peso de la muestra (mg).

F = Factor proteínico. (6.25 por defecto)

3.3.1.3. Determinación de Grasa

Mediante el Método Soxhlet se preparó la muestra que previamente seca para esta medición. Se pesó alrededor de 2g en la balanza analítica y se la mantuvo en el desecador a fin de que no adquiriera humedad del medio ambiente. Posterior a esto, la muestra se cubrió con un algodón y se coloca en el extractor el cual se puso sobre un matraz con cuello esmerilado y se realizó la extracción con el solvente hexano.

Se colocó la muestra en el evaporador bajo un condensador y encendió hasta que se le hexano empiece a evaporarse y empiece a lavarse la muestra a manera de condensación por alrededor de tres horas. Una vez pasado este tiempo, se destiló el hexano en un rota vapor a baño maría hasta que se evapore todo el hexano de la muestra. Una vez que se obtuvo la muestra concentrada de grasa, se colocó en la estufa a 105°C por aproximadamente dos horas. Se desecó la muestra y se procedió a pesar, calcular y expresar los resultados de la siguiente manera:

$$\text{grasa cruda \%} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100$$

$$\text{grasa cruda en base seca \%} = \text{grasa cruda \%} \times \frac{100}{100 - \%humedad}$$

Dónde: m = peso de la muestra
m1 = tara del matraz solo
m2 = peso matraz con grasa.

3.3.1.4. Determinación de Fibra

Para la determinación de la fibra se sigue el Método AOAC 978.10. Previamente se secó la muestra en una estufa a 70°C y se la paso por un tamiz. Se pesó 2g de muestra y en un matraz se añade 200ml de ácido sulfúrico a 0.25 normal hirviendo y gotas antiespumantes.

Se sometió a ebullición por 30 min en el condensador rotando constantemente.

El contenido resultante se filtró a través del embudo Büchner y se lavó con 75 ml de agua hirviendo repitiendo el proceso por tres veces con 50ml.

Se retorna el residuo al desecador y se hirvió por tres min rotando el matraz periódicamente. Se repite el proceso de lavado, esta vez iniciando con 25 ml de Ácido Sulfúrico con tres repeticiones y 25 ml de etanol al 95%.

Se transfirió el residuo al crisol y se secó en la estufa a 130°C por dos horas. Se enfrió trasladó al desecador para registrar su peso.

Se incinera la muestra por 30 min a 600°C y se la traslada al desecador y pesando nuevamente. Con los datos registrados, se calculó así:

$$\mathbf{fibra\ crudo\ en\ muestra\ molida\ \% = C = \frac{(P_i - P_{fc}) \times 100}{\text{peso de la muestra}}}$$

$$\mathbf{fibra\ crudo\ base\ húmeda\ \% = C \times \frac{100 - \text{humedad muestra original}}{100}}$$

Dónde: P_i = Pérdida de peso en la incineración

P_{fc} = Pérdida de peso del blanco de fibra cerámica

3.3.1.5. Determinación de Cenizas

Siguiendo el Método AOAC 923.03, se tomó 2gr de muestra, los cuales se colocó en un crisol registrándose el peso. Posteriormente lo se lo transfirió en una placa de calentamiento para calcinarla hasta que deje de emitir vapores.

Se enfrió la muestra y se colocó en la mufla a 550°C. Pasada las cinco horas, se dejó que descienda la temperatura de 110°C.

Para que adquiriera una temperatura ambiente se dejó en el desecador por 20 min.

Se pesó el crisol con las cenizas y se calculó:

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Dónde: m2 = g de la cápsula con las cenizas

m1 = g de la cápsula con la muestra

m0 = g de la cápsula vacía

3.3.1.6. Determinación del Color (Luminosidad)

Para determinar la variable del color se utilizó el método CIE L*, a*, b* en el Espectrofotómetro (modelo Specord 250 plus), donde L* representa la diferencia entre el blanco (L*= 1000) y el negro (L*= 0).

Se tomó en cuenta la variable de luminosidad ya que esta indica el grado de claridad que tiene un líquido que puede ser clasificado como tenues u oscuros al comparar sus valores.

Para este análisis se tomó una muestra del jugo en una celda de cuarzo y se la introdujo dentro del Espectrofotómetro de Reflectancia.

Dados los resultados con los valores de L*, a*, b* se caracterizó el jugo de caña puro tomando en cuenta el Ángulo Observador 2 en el Iluminante estándar C.

3.3.1.7. Determinación de Turbidez

Para este análisis, se utilizó un turbidímetro modelo HANNA HI 93703 C, en donde se introdujo el electrodo la muestra de jugo y se leyó los resultados.

3.3.1.8. Determinación de pH

En este caso, se utilizó el mismo instrumento utilizado para la medición de turbidez, que previa calibración del potenciómetro con buffer pH 7 y 4, se enjuagó el electrodo con agua destilada, se lo introdujo en la muestra del jugo y se leyó los valores de pH.

3.3.1.9. Determinación de Densidad

Para determinar la densidad del jugo, se calibró el densímetro con agua destilada, y se colocó el electrodo en la muestra, dando automáticamente el valor de densidad de cada muestra analizada.

3.3.1.10. Determinación de °Brix

Para su medición se utilizó el refractómetro de mesa Modelo 1310499 de acuerdo con el método AOAC 932.14C, se tomó 2ml de jugo y se lo esparció por el prisma. Se tapó con el cubre objetos y mediante el ocular, vista a la luz se observó la escala que presenta.

3.3.2. EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MUCÍLAGO Y TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA.

En esta investigación se determinó la cantidad óptima del mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica*, y la temperatura de clarificación del jugo de caña, para esto aplicó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A.) con un arreglo factorial A x B + 1; donde el factor A corresponde a la cantidad de mucílago y el factor B a la temperatura de clarificación, el testigo fue el jugo de caña clarificado con hidrosulfito de sodio. Se realizó tres repeticiones a cada tratamiento.

3.3.2.1. Factores en estudio

- **FACTOR A:** Cantidad del mucílago de nopal (ml de mucílago por litro de jugo)

A1: 60ml

A2: 90ml

- **FACTOR B:** Temperatura de Clarificación

B1: 80°C

B2: 90°C

B3: 100°C

Se asume como factor fijo el tiempo de agitación en la incorporación del mucílago dos minutos, de los cuales el primer minuto se lo realizó de forma rápida, y el siguiente minuto de manera leve. Tiempos de agitación más bajos al mencionado no permiten que el mucílago reaccione de una manera eficiente con las partículas del jugo.

Se controló a demás en el Factor A, la concentración del mucílago extraído mediante la maceración (cantidad de nopal/volumen de agua) y en el Factor B, el tiempo de incremento de la temperatura en los tres niveles para la obtención de resultados más exactos.

3.3.2.2. Tratamientos en estudio

Con el diseño propuesto se obtuvieron los siguientes tratamientos:

Tabla 10. Descripción de tratamientos

TRATAMIENTOS	CANTIDAD DE MUCÍLAGO	TEMPERATURA DE CLARIFICACIÓN	COMBINACIONES
T1	A1	B1	A1B1
T2	A1	B2	A1B2
T3	A1	B3	A1B3
T4	A2	B1	A2B1
T5	A2	B2	A2B2
T6	A2	B3	A2B3
T7		Testigo	Jugo clarificado con Hidrosulfito de Sodio

3.3.2.3. *Análisis de Varianza*

Se evaluaron los siete tratamientos con tres repeticiones cada uno, resultando 21 unidades experimentales de 5000 ml de jugo de caña cada una; a continuación, se detalla el esquema del Análisis de Varianza, indicando los grados de libertad tanto de los factores en estudio como de los tratamientos.

Tabla 11. Esquema del análisis de varianza

FUENTE DE VARIACIÓN	GL
Tratamientos	6
Cantidad de mucílago (A)	1
Temperatura de Clarificación (B)	2
AXB	2
Error experimental	14
Testigo vs resto	1
TOTAL	20

3.3.2.4. *Diferencia Mínima Significativa*

Se calculó el coeficiente de variación (CV), prueba Tukey al 5% y 1% para tratamientos, graficas de comportamiento para los análisis fisicoquímicos del jugo

clarificado, y prueba de Friedman para la evaluación de características organolépticas en los tres mejores tratamientos en producto final panela (color, olor, sabor, dureza y aceptabilidad)

3.3.3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL JUGO CLARIFICADO Y ORGANOLÉPTICAS DE LA PANELA.

Los variables cuantitativas y cualitativas que se analizaron en los tratamientos descritos anteriormente se detallan a continuación:

Tabla 12. Variables cuantitativas y cualitativas en el jugo clarificado y en la panela

	VARIABLES CUANTITATIVAS	MÉTODO
Jugo clarificado	Color (Luminosidad)	Espectrofotometría CIELAB
	Turbidez	Nefelométrico
	Cantidad de cachaza generada	Diferencia de peso
	pH	Nefelométrico
	Densidad	AOAC 962.37
	°Brix	AOAC 932.14
	VARIABLES CUALITATIVAS	
Panela	Color	Prueba de Friedman para n muestras
	Olor	Prueba de Friedman para n muestras
	Sabor	Prueba de Friedman para n muestras
	Dureza	Prueba de Friedman para n muestras

Para la determinación de las variables de Color (Luminosidad), turbidez, pH, densidad y °Brix, se siguió el proceso utilizado en la caracterización del jugo de caña puro descrito anteriormente en el punto 3.3.2.

3.3.3.1. Determinación de cantidad de cachaza generada

En la evaluación de esta variable, se pesó la cachaza que generaron los tratamientos en el proceso de clarificación, analizando su incremento en cada uno de ellos.

3.3.3.2. Evaluación de las Variables Cualitativas

Las características sensoriales fueron evaluadas mediante el método de Friedman en una escala de cinco niveles con la presencia de 15 personas, las mismas que mediante degustación identificaron el producto final con las mejores características.

$$x^2 = \frac{12}{r \cdot t (t + 1)} \Sigma R^2 - 3e (t + 1)$$

Dónde: x^2 = Chi cuadrado

t = Tratamientos

R = Rangos

r = Número de degustado

3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

• **Recepción materia prima:** Una vez cosechada la caña con 14 meses de madurez, °Brix > 15°, Azúcares reductores < 1 y una humedad > 72%, se la trasporta hacia las Unidades Eduproductivas.



Figura 11. Recepción de caña

- **Molienda:** Se procede a moler las cañas en el trapiche, haciéndolas pasar una por una para extraer su jugo.



Figura 12. Molienda de caña

- **Limpeza:** Se separaron las impurezas menos densas que el jugo con la ayuda de un lienzo fino.



Figura 13. Limpieza del jugo de caña

- **Calentamiento:** El jugo de caña se sometió a temperaturas de (80, 90 y 100°C) con un control en el tiempo de incremento de temperatura.



Figura 14. Calentamiento del jugo de caña

- **Clarificación:** Se añadió el mucílago extraído en cantidades de (60 y 90 ml)



Figura 15. Clarificación del jugo de caña

- **Agitación:** Con la ayuda de un agitador se procedió a agitar el jugo con el mucílago de forma rápida por 1 minuto y de forma leve por 1 minuto.



Figura 16. Agitación rápida



Figura 17. Agitación leve

- **Sedimentación:** En este proceso las partículas coloidales del jugo reposan haciendo que floculen como cachaza negra y se sedimenten como cachaza blanca.



Figura 19. Sedimentación

- **Descachazado 1 y 2:** Se retiró la cachaza formada en la superficie y sedimentada en el fondo, se depositó en otro recipiente.



Figura 20. Descachazado

- **Pesado:** Se pesó la muestra de jugo clarificado y cantidad de cachaza generada para el análisis por diferencia de peso.



Figura 21. Pesado de impurezas

- **Análisis:** A las muestras de cada tratamiento con su respectiva repetición, se realizaron los análisis de color, turbidez, pH, °Brix y densidad.



Figura 22. Análisis de muestras

3.4.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

A continuación, se describe el procedimiento para el proceso de clarificación de jugo de caña en la elaboración de panela.

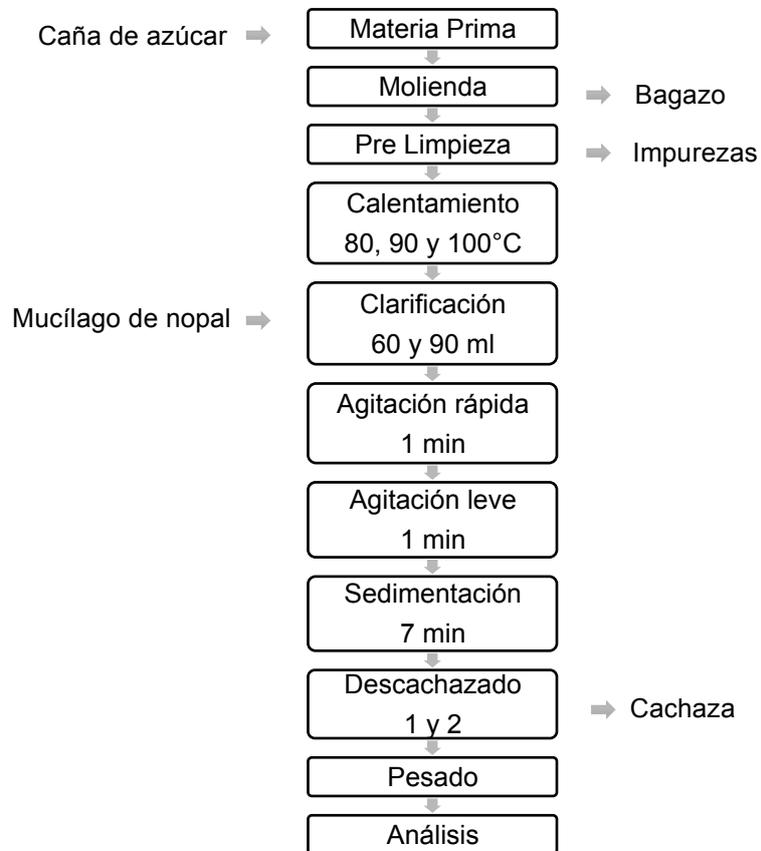


Figura 23. Proceso de clarificación de jugo de caña

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL CLADIOLO DE NOPAL

Los cladiolos de Nopal fueron adquiridos en el Valle del Chota en cultivos controlados, se utilizaron pencas frescas de dos años de edad aproximadamente de variedad blanca, fueron analizados dando como resultados los que se muestran a continuación:

El agua es el componente principal de las cactáceas y los resultados de humedad obtenidos en la caracterización del Nopal *Opuntia ficus-indica* lo indican, con valor de 87,38%, así lo señala Vázquez (2011) quien en su investigación encuentra valores desde el 79% hasta el 92% de humedad. Así mismo los resultados reportados por Almendárez (2004) para la Tuna *Opuntia ficus-indica* indicaron que el tallo de la planta presenta un alto contenido de humedad del 90,23%.

Tabla 13. Variables cuantitativas del cladiolo de nopal

VARIABLES CUANTITATIVAS	VALOR
Humedad %	87,38
Proteína %	7,55
Grasa %	2,12
Fibra %	14,56
Cenizas %	21,30
pH	4,82
Ca %	0,43
K %	0,13
Fe %	0,321

que el tallo de la planta presenta un alto contenido de humedad del 90,23%.

El pH del nopal es medianamente ácido de 4.82, como confirma Rodríguez-García *et al.*, (2007) quien encontró valores de pH del nopal cercanos a 4,25. Mientras, Terán *et al.*, (2015), determinó en 50 muestras de nopal *Opuntia ficus- indica* valores medios de 5,98 tendiendo a un rango alcalino. De la misma manera, Aguirre *et al.*, (2007) y Piga (2004) indican valores dentro del intervalo de 5,3-7,1. Además de estos componentes, investigaciones como las de Tomas-Human *et al.*, (2012) mostraron que presentan flavonoides, cumarinas, taninos catéquicos, saponinas, esteroidales y alcaloides, quienes afirman también que el nopal de variedad blanca contiene cantidades apreciables de nutrientes en cenizas como Mg, Ca, Fe, P, Zn y K; lo que la convierte en un producto de alto nivel nutritivo, permitiendo ser motivo de estudio para diferentes usos en la agroindustria.

Así mismo, su contenido de calcio (0,43%) lo ubica como un coagulante catiónico, componente indispensable para desestabilizar las cargas negativas de

los coloides que el jugo de caña presente, tal y como lo expresa Marín (2012): “el ion calcio (Ca) es el encargado de realizar la unión entre la impureza coagulada y el floculante”

Por otro lado, otras investigaciones encontraron un contenido de fibra total de 4,20 a 6,80%, grasa de 1,0 – 2,2% y proteína de 3,9 – 5,7%, valores por debajo a los resultantes en esta caracterización, por lo que la variedad blanca de *Opuntia ficus-indica* proveniente de la parroquia Salinas denota un mayor porcentaje de nutrientes en su composición.

Respecto al contenido de cenizas encontradas en la caracterización de esta investigación está por debajo de 26% indicado por Sáenz *et al.*, (2006). Análisis realizados por Piga (2004) arroja valores más bajos cuyos intervalos varían de 3 al 10%. Por lo contrario los resultados obtenidos en esta investigación se identifican con los resultados de investigaciones como la de Valdivieso (2005) e Hidalgo (2009), los cuales encuentran contenidos de cenizas del 19,43% y 20,04% respectivamente, mismos que aseguran que estos valores variarán dependiendo de la variedad, edad y manejo del cultivo.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña fue cosechada en los predios del Ingenio Azucarero en Salinas - Ibarra, la cual se sometió a molienda en un molino de rodillos para la extracción del jugo. Los análisis del jugo presentaron las siguientes características físicas, Tabla 13.

Tabla 14. Características físico-químicas del jugo de caña

VARIABLES CUANTITATIVAS	VALOR
Color (luminosidad)	139,06
Turbidez	2336 NTU
pH	6,11
Densidad	1,09

°Brix

19°

El color del jugo de caña se encuentra entre opaco y oscuro, ya que tiene un valor bajo de luminosidad de 139.06. Romero y Gómez (2014) analizan el proceso de extracción de una variedad de jugos y sus posteriores análisis, en los que los resultados de análisis de luminosidad se ubican entre los rangos de 340 a 450 en la escala L* 0 para colores oscuros y 1000 para colores claros, aplicando una clarificación simple por diferencia de densidad y sedimentación; esto ubica al jugo de caña por debajo de estos valores indicando así la opacidad del jugo debiéndose a la presencia de coloides insolubles finamente dispersos derivados principalmente de restos de la caña y del suelo. Marín (2012)

Por otro lado, la turbidez presenta un valor alto de 2336 NTU, valores que confirman autores como Leitón y Ramírez (2008), donde el jugo de caña virgen posee valores mayores a 2000 NTU, que indica alta turbiedad en el jugo. Esto es debido a la presencia de sólidos coloidales en suspensión, ya que no ha sido sometido a ningún proceso de filtrado.

El jugo de caña es de naturaleza ácida con pH 6.11, según investigaciones de Chauhan (2002) registra valores ligeramente menores de 5.78, quien manifiesta que la disminución del pH depende del tiempo transcurrido desde la molienda. Autores como Cobeña (2016) expone que por lo general el jugo de caña tiene un pH neutro, que puede variar al momento de la extracción, además que los valores de pH superiores a 6.5 pueden influir en el color del producto final. Por lo tanto, es necesario estabilizar el pH para evitar estos inconvenientes.

Se analizó además el análisis de sólidos solubles totales en el jugo de la variedad de caña cenicaña con una edad de 14 meses registro 19°Brix. Asimismo, Bhupinder *et al.* (2012) y Patil *et al.* (2004) registraron valores similares de 18,67° Brix, con una variación mínima debido a factores de manejo del cultivo, cosecha y variedad.

Según la FAO, la concentración de sólidos solubles en el jugo crudo de caña está entre el 16 y 22° Brix, lo cual se encuentra en el rango de nuestra investigación, aportando así a un mayor rendimiento de panela, tal y como lo cita Cobeña (2016) “La cantidad de panela varía según el porcentaje de extracción del molino y la concentración de los sólidos solubles (°Brix), así: a mayor porcentaje de extracción y a mayor °Brix, mayor cantidad de panela obtenida por tonelada de caña”.

4.2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN.

El diseño estadístico consideró a los factores de cantidad de mucílago y temperatura de clarificación. Donde, se evaluó como variables de respuesta las siguientes: color (luminosidad y croma), turbidez, cantidad de cachaza generada, pH, densidad y °Brix.

4.2.1. COLOR

Los análisis de Color fueron realizados mediante un espectrofotómetro de Reflectancia (modelo Specord 250 plus), tomando en cuenta los valores de Luminosidad, los mismos que indican cambios en la claridad y transparencia que el jugo presenta en cada tratamiento durante el proceso de clarificación.

4.2.1.1. *Luminosidad*

Para este análisis se tomó muestras de jugo de caña clarificado en cada uno de sus tratamientos de cada repetición en una capsula de cuarzo la cual es ubicada dentro del Espectrofotómetro de reflectancia para su posterior análisis. En esta variable se utilizó la escala de Luminosidad, donde $L^*=0$ es negro, el cual indica obscurecimiento y $L^*=1000$ es blanco, que indica claridad en cada muestra evaluada.

Los valores de Luminosidad de cada tratamiento se presentan a continuación:

Tabla 15. Datos experimentales de luminosidad

N°	Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
		I	II	III		
1	A1B1	351,74	351,06	353,01	1055,81	351,94
2	A1B2	635,68	635,19	633,78	1904,64	634,88
3	A1B3	696,91	697,86	698,06	2092,83	697,61
4	A2B1	436,05	434,42	435,28	1305,74	435,25
5	A2B2	524,91	525,78	524,62	1575,32	525,11
6	A2B3	677,60	679,24	679,15	2036,00	678,67
7	Testigo	554,12	552,73	553,92	1660,78	553,59
Σ Repeticiones		3877,00	3876,29	3877,82	11631,11	553,86

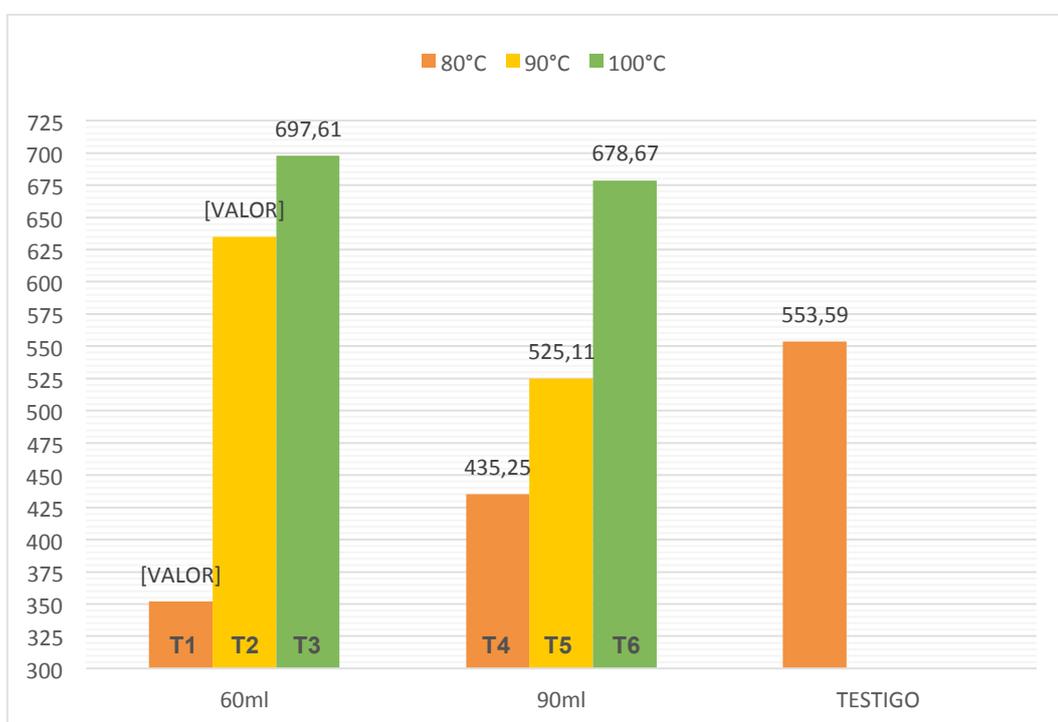


Figura 24. Datos experimentales de luminosidad

En la figura 23 se indican los valores promedios de luminosidad en cada uno de los tratamientos en estudio. Aquí se puede identificar los mejores tratamientos; T3, T6 y T2. Se puede observar que la luminosidad es directamente proporcional al incremento de temperatura, puesto a que los mejores tratamientos se presentan a temperaturas de 90°C y 100°C, indicando una diferencia apreciable en el color del jugo clarificado, argumento que se contrapone a lo planteado por Demera *et al.*, (2015), quien concluye que la variable Luminosidad no tiene incidencia en la variable del color, debido posiblemente a que en su investigación estos valores se matuvieron dentro de un mismo rango.

Andrade, Blanquicett, y Rangel (2016) registraron que a medida que aumentaba el pH de 3.8 a 4.5, la luminosidad se incrementaba, registrándose un cambio de aproximadamente del 23%. Debido posiblemente a qué adicionaron Hidróxido de Calcio para ajustar el pH, un compuesto de color blanco que tiende a aumentar los valores de L* del jugo.

Tabla 16. Análisis de varianza para luminosidad

Análisis de Varianza							
FV	SC	GL	CM	Fcal	SIGNIFICA	Ftab	
						5%	1%
Total	295431,74	20					
Tratamientos	295422,19	6	49237,03	72198,5949	**	2,85	4,46
A	266396,44	2	133198,22	195314,865	**	3,74	6,51
B	1030,97	1	1030,97	1511,75647	**	4,60	8,86
A*B	27994,53	2	13997,26	20524,8534	**	3,74	6,51
Test VS Resto	0,26	1	0,26	0,3753801	NS	4,60	8,86
Error	9,55	14	0,68				
CV	0,15						

** : Altamente significativo

* : Significativo

NS : No significativo

El análisis de varianza de los valores de luminosidad (L^*) en los tratamientos del jugo de caña, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$), tanto para los tratamientos, como para los factores A (cantidad de mucilago), B (Temperatura de clarificación) y la interacción AB. Esto indica que la cantidad de mucilago y la temperatura del jugo influyen significativamente en el incremento de la luminosidad del jugo de caña durante el proceso de clarificación. Mientras, que los valores de luminosidad del tratamiento testigo no presentaron diferencia estadística con relación a los tratamientos.

Los tratamientos T3 (60 ml + 100°C), T6 (90 ml + 100°C) y T2 (60 ml + 90°C), registraron mayores valores de L^* de 697,61, 678,67 y 634,88 respectivamente, con relación a los demás tratamientos (figura 6). Observándose según el análisis de varianza que la cantidad de mucilago tuvo mayor influencia sobre el nivel de clarificación del jugo de caña.

El análisis funcional de los valores de luminancia L^* registrados en los tratamientos, mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde G, F y E corresponden a los mejores tratamientos, es decir a los mayor valor de luminancia L^* (tabla 17).

Tabla 17. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (luminosidad)

Tratamientos	Medias	Rangos
T1	351,94	a
T4	435,25	b
T5	525,11	c
Testigo	553,59	d
T2	634,88	e
T6	678,67	f
T3	697,61	g

Según la prueba de Tukey, se observan varios rangos diferentes para cada tratamiento, registrando diferencias estadísticas entre ellos. Asimismo, se observa que al aumentar la temperatura del jugo durante el proceso de clarificación permite una mayor clarificación en el jugo con valores mayores de luminosidad hacia el blanco (1000).

El análisis funcional a los valores de luminancia L^* de los factores A (cantidad de mucílago) y B (temperatura del jugo), mediante la prueba de Diferencia Media Significativa (DMS) ($\alpha < 0.05$), determinó el orden de los rangos, donde **los mayores valores L^*** corresponden al nivel del factor de mayor efecto sobre la cantidad de luminancia del jugo de caña (tabla 18 y 19).

Tabla 18. Prueba de DMS sobre el factor A (luminosidad)

Factor A	Medias	Rangos
A2	576,34	a
A1	561,48	b

La prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor A (cantidad de mucílago) muestra dos rangos en cada nivel, encontrando que el nivel más alto corresponde al A2 (90ml de mucílago) en donde el valor de luminosidad es mayor ($L^*=576,34$)

Demera *et al.*, (2015), al usar diferentes cantidades de mucílago (10000, 11000, 12000 y 13000 mg/L) de corteza de cacao y muyuyo, no encontró una diferencia significativa en los resultados de Luminosidad L^* por lo que concluye que la cantidad del mucílago no influye en la opacidad o claridad del jugo de caña.

Tabla 19. Prueba DMS sobre el factor B (luminosidad)

Factor B	Medias	Rangos
B1	393,59	a
B2	597,99	b
B3	688,14	c

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor B (temperatura del jugo) se observa tres rangos distintos, evidenciando que al aumentar el nivel de temperatura se incrementa el valor L* de luminosidad, observándose el más alto el B3 (100°C) (L*=688,14) logrando mayor transparencia o clarificación del jugo durante el proceso (tabla 19).

Estos resultados se asimilan a los obtenidos por Andrade, Blanquicett, y Rangel (2016), que al aplicar una temperatura superior a la de ebullición del jugo de caña (>93°C), además de incrementar el pH aumentaba los rangos de luminosidad gracias a la adición de Hidróxido de Calcio.

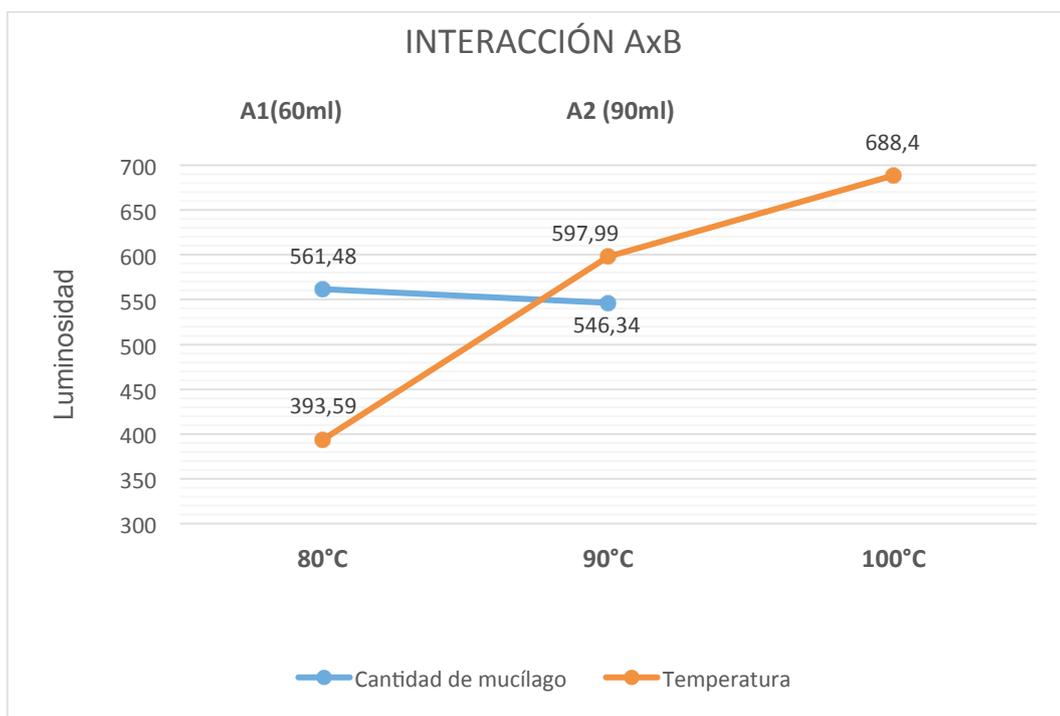


Figura 25. Interacción AxB (luminosidad)

Los niveles de luminosidad más altos se obtienen aplicando temperaturas de clarificación de 90 y 100°C; si este proceso se realiza a 80°C el valor L* es inferior a 400, por lo tanto, la figura 24, indica que se obtiene un mejor resultado

en la clarificación de jugo de caña aplicándose temperaturas mayores a la ebullición. De igual manera muestra cómo el aumento en cantidad de mucílago y luminosidad son directamente proporcionales; por lo que se sugiere que la clarificación del jugo de caña es más efectiva cuando se emplea mayor cantidad de mucílago (90ml) a temperaturas entre 90° y 100°C obteniendo niveles de L* más altos y reflejando mayor claridad y transparencia en el jugo, proporcionando una panela de color más claro.

4.2.2. TURBIDEZ

Para esta variable se tomó datos al final de proceso de clarificación. A continuación, se presentan los valores de turbidez para cada tratamiento:

Tabla 20. Datos experimentales de turbidez

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
A1B1	584,19	583,22	584,68	1752,09	584,03
A1B2	317,74	318,63	317,62	953,99	318,00
A1B3	181,11	180	181,9	543,01	181,00
A2B1	555,6	554,4	555,85	1665,85	555,28
A2B2	259,01	257,99	258,67	775,67	258,56
A2B3	138,51	139,33	139,85	417,69	139,23
Testigo	79	78,71	78,95	236,66	78,89
Σ Repeticiones	2115,16	2112,28	2117,52	6344,96	302,14

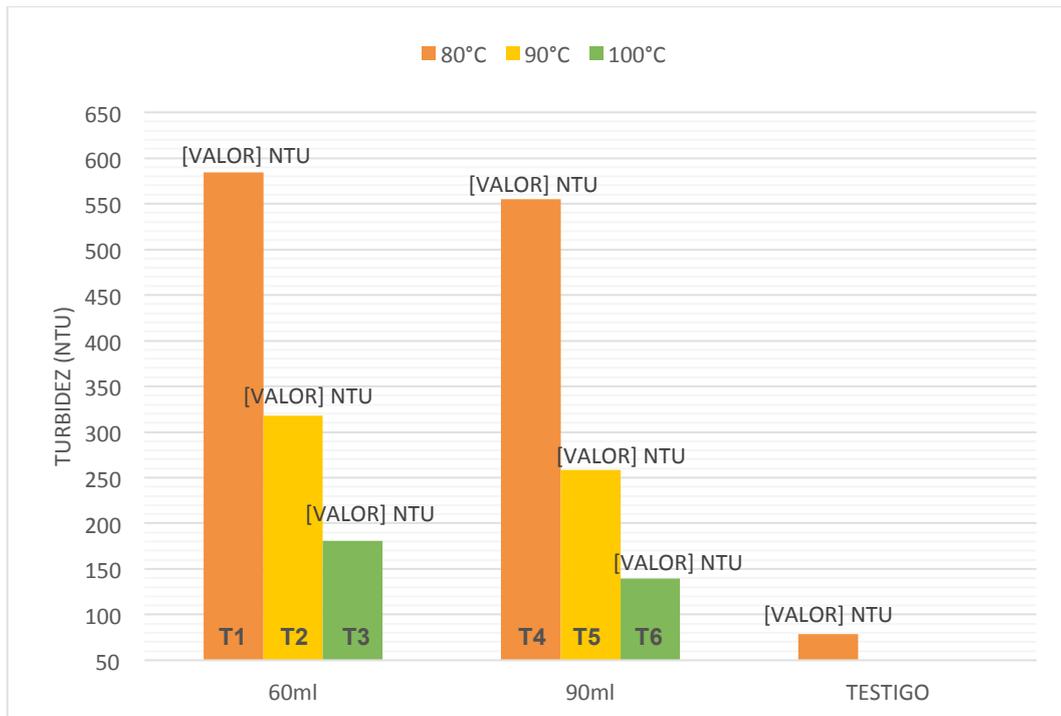


Figura 26. Datos experimentales de turbidez

En la figura 25 se indican los valores promedios de turbidez en cada uno de los tratamientos en estudio. Los mejores tratamientos son; T3 (60ml + 100°C), T6 (90ml + 100°C) y T5 (90ml + 90°C).

Se puede observar que a medida que la temperatura aumenta, la turbidez disminuye ya que los mejores tratamientos se realizaron a temperaturas de 90°C y 100°C como lo concluye Gallardo (2014), quien expresa que, a menor temperatura de incorporación de mucílago, la turbidez será mayor. De este argumento, difiere al planteado por Játiva y Loaiza (2010), que obtuvieron la mejor clarificación (70,67 NTU) con gel de yausabara e hidrosulfito de sodio aplicando una temperatura de 70°C, lo que significa que el jugo contiene menor cantidad de impurezas.

Los valores de turbidez obtenidos en esta investigación utilizando mucílago de Nopal, se acercan al promedio de los mejores tratamientos (150 NTU) empleando 14 plantas mucilaginosas en la investigación de Quezada (2007).

Valores de turbidez en el T2 (258,56 NTU) se asemejan a los expuestos por Leitón y Ramírez (2008), quienes obtuvieron 225,33 NTU en la variable turbidez de su investigación, interactuando con dos factores de variación de pH y velocidad de agitación en el proceso de clarificación empleando jugo de limón para la aglomeración de flóculos del jugo de caña.

Tabla 21. Análisis de varianza para turbidez

Análisis de Varianza							
FV	SC	GL	CM	Fcal	SIGNIFICA	Ftab	
						5%	1%
Total	710257,05	20					
Tratamientos	710250,81	6	118375,14	265707,306	**	2,85	4,46
A	526645,40	2	263322,70	591059,646	**	3,74	6,51
B	8444,80	1	8444,80	18955,3766	**	4,60	8,86
A*B	711,94	2	355,97	799,021003	**	3,74	6,51
Test VS Resto	174448,67	1	174448,67	391571,127	**	4,60	8,86
Error	6,24	14	0,45				
CV	0,22						

**:
Altamente significativo

*:
Significativo

NS:
No significativo

El análisis de varianza indica alta significancia para los factores A, B, testigo y su interacción. Esto demuestra que la cantidad de mucílago y la temperatura influyen significativamente en la turbidez del jugo de caña clarificado.

Al existir significancia en los factores A y B, se realizó la prueba de Tukey al 5% para tratamientos y DMS ($\alpha < 0.05$) para cada factor.

Tabla 22. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (turbidez)

Tratamiento	Media	Rango
Testigo	78,89	a
T6	139,23	b
T3	181,00	c
T5	258,56	d
T2	318,00	e
T4	555,28	f
T1	584,03	g

Según muestra el análisis Tukey, existen rangos diferentes para cada tratamiento, dando como resultado que son estadísticamente diferentes. El tratamiento testigo muestra el valor más bajo de turbidez, con una diferencia significativa por debajo de los 100 NTU.

Los tratamientos que muestran menor turbidez son: T3 (60ml + 100°C), T6 (90ml + 100°C) y T5 (90ml + 90°C).

Así se concluye que tanto en el incremento de la temperatura y cantidad del mucílago se obtiene jugos más limpios con menos solidos indeseados suspendidos.

Tabla 23. Prueba DMS para el factor A (turbidez)

Factor A	Media	Rango
A2	317,69	a
A1	361,01	b

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor A (cantidad de mucílago) se observa dos rangos, donde se observa que el nivel que logra disminuir la turbidez del jugo corresponde al nivel superior A2 (90ml).

En cuanto a la variable cantidad de mucílago se ve que no hay una diferencia significativa en la turbidez del jugo, ya que los valores del Factor A son mayores que los obtenidos con la variable temperatura (80 y 90°C), indicando así que el Factor B tiene mayor influencia en la turbidez del jugo clarificado, tal como muestra la tabla 24.

Tabla 24. Prueba DMS factor B (turbidez)

Factor B	Media	Rango
B3	160,12	a
B2	288,28	b
B1	569,66	c

La prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor B (temperatura) indica tres rangos, encontrando que el nivel con menor turbidez corresponde al nivel mayor de temperatura B3 (100°C), por lo tanto, es el nivel de temperatura de clarificación más adecuado para este proceso.

La turbidez determinada en cada experimento según el tratamiento muestra valores entre 100 y 600 NTU en los tres rangos de temperatura. Sin embargo, temperaturas mayores a la de ebullición ($> 93^\circ\text{C}$), dieron mejores resultados (menor turbidez) en el jugo clarificado con características de claro y brillante, condiciones en un proceso eficiente de clarificación por una rápida floculación con una buena coagulación de coloides por acción del mucílago.

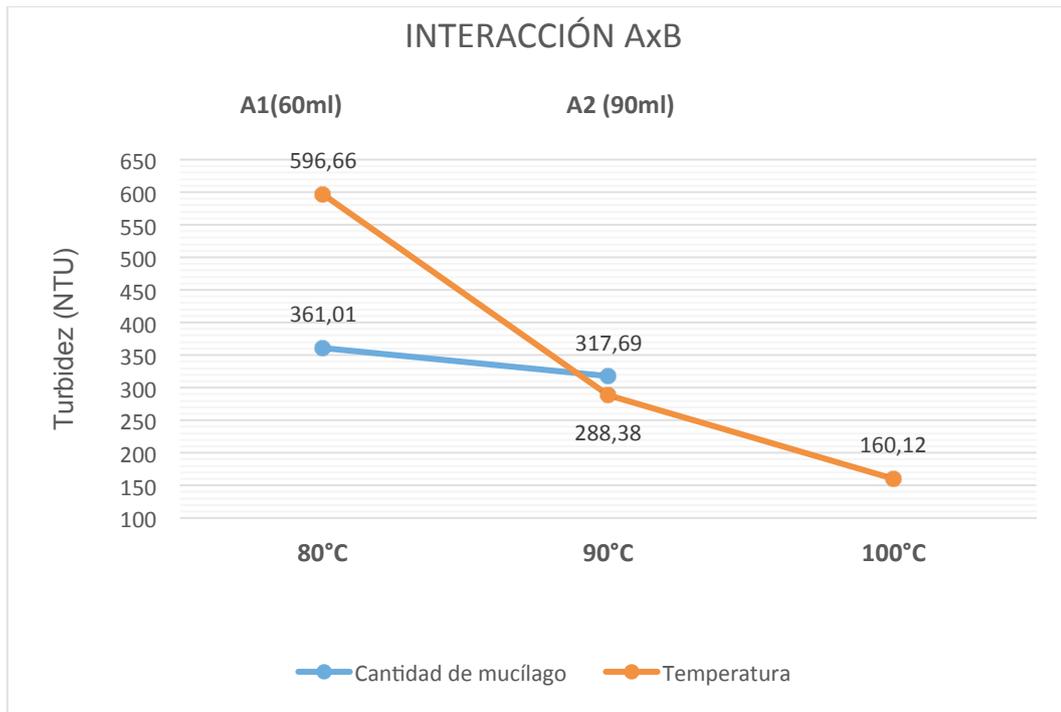


Figura 27. Interacción AxB (turbidez)

En esta variable, los niveles de turbidez más bajos se obtienen aplicando una temperatura alta de 100°C; caso contrario a una temperatura de 80°C presenta valores demasiado altos de turbidez por encima de los 500 NTU, es así como la figura 26 sugiere aplicar temperaturas altas (100°C), al igual que a mayor cantidad de mucílago (90ml) se obtiene jugo con menor cantidad de sólidos suspendidos, los cuales son responsables de aportar opacidad en el jugo y oscurecimiento en la panela.

4.2.3. CANTIDAD DE CACHAZA GENERADA

Esta variable está en función de la diferencia de peso al final de cada tratamiento. Los valores se muestran a continuación:

Tabla 25. Datos experimentales de cantidad de cachaza generada

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
A1B1	16,60	16,79	17,74	51,13	17,04
A1B2	29,58	30,19	27,23	86,99	29,00
A1B3	29,91	28,68	28,49	87,08	29,03
A2B1	36,44	32,98	36,53	105,95	35,32
A2B2	42,84	43,30	42,66	128,81	42,94
A2B3	49,88	51,61	48,15	149,63	49,88
Testigo	33,30	31,70	31,60	96,60	32,20
Σ Repeticiones	238,55	235,25	232,39	706,19	33,63

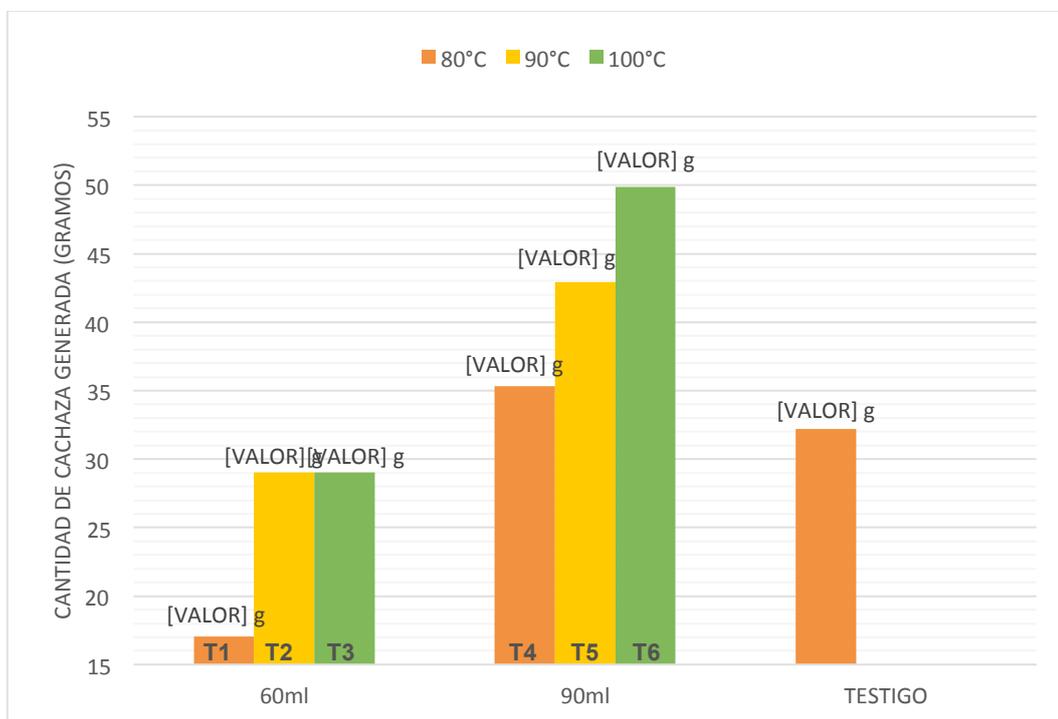


Figura 28. Cantidad de cachaza generada durante la clarificación

La figura 27 indica los valores promedios de cantidad de cachaza generada en cada uno de los tratamientos en estudio, siendo identificados como los mejores; T6 (90ml + 100°C), T5 (90ml + 90°C) y T4 (90ml + 80°C).

Es evidente que tanto la temperatura como la cantidad de mucílago incorporada en el jugo en el proceso de clarificación influyen directamente en la cantidad de cachaza que en este proceso se genere debido a que al aumentar la cantidad de mucílago este atrapa más sólidos presentes en el jugo convirtiéndolos en residuos.

Según, Ortiz et al., (2011) manifiestan que obtuvieron mayor cantidad de residuos en la clarificación, a medida que aumentaba la temperatura, resultando una cantidad mayor al 12% con relación al volumen total del jugo sometido a 110°C.

Tabla 26. Análisis de varianza de cachaza generada

Análisis de Varianza							
FV	SC	GL	CM	Fcal	SIGNIFICA	Ftab	
						5%	1%
Total	2042,75	20					
Tratamientos	2019,73	6	336,62	204,734843	**	2,85	4,46
A	568,00	2	284,00	172,730137	**	3,74	6,51
B	1407,97	1	1407,97	856,332694	**	4,60	8,86
A*B	36,62	2	18,31	11,1361206	**	3,74	6,51
Test VS Resto	7,14	1	7,14	4,34384593	NS	4,60	8,86
Error	23,02	14	1,64				
CV	3,81						

**.: Altamente significativo

*.: Significativo

NS.: No significativo

El análisis de varianza muestra alta significancia para los factores A, B y su interacción. Esto indica que la cantidad de mucílago y la temperatura influye significativamente en la cantidad de cachaza que genere el proceso de clarificación del jugo.

En relación a los cinco litros de jugo utilizados como unidad experimental, el valor más alto de cantidad de cachaza generada (49.88g), valor que se acerca al expuesto por Demera *et al.*, (2015) quienes evaluaron el empleo de mucílagos naturales en el proceso de clarificación del jugo de caña resultando una mayor cantidad de cachaza retirada (64.8 g y 55.1g) con el mucílago de la corteza de cacao.

Al existir significancia en los factores A y B, se realizó la prueba de Tukey al 5% para tratamientos y diferencia mínima significativa.

Tabla 27. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (cantidad de cachaza generada)

Tratamiento	Media	Rango
T1	17,04	a
T2	29,01	b
T3	29,03	b
Testigo	32,2	b c
T4	35,32	c
T5	42,93	d
T6	49,88	e

Al analizar la prueba de Tukey, se observa que existen cuatro rangos en los tratamientos, siendo estos los que mayor cantidad de cachaza generan; T6 (90ml + 100°C), T5 (90ml + 90°C) y T4 (90ml + 80°C). El testigo se encuentra en un valor medio (32,20) con relación a los demás, empleando mucílago de Nopal.

Tabla 28. Prueba DMS factor A (cantidad de cachaza generada)

Factor A	Media	Rango
A1	25,03	a
A2	42,71	b

En la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor A (cantidad de mucílago) se observa dos rangos, donde indica que el nivel óptimo para la generación de mayor cantidad de cachaza corresponde al A2 (90ml), provocando un menor contenido de sólidos en suspensión, resultando en una panela de mejor calidad.

En este caso en la tabla 28 se aprecia como la cantidad de cachaza generada es significativa en esta variable, ya que al aplicar mayor cantidad de mucílago se obtiene mayor cantidad de residuos (cachaza), así lo afirma Ortiz (2001) al obtener mayor cantidad de desechos de bagazo y cachazo en la extracción y clarificación del jugo de caña utilizando diferentes cantidades de mucílago de yausabara, el cual determino que a mayor cantidad de mucílago incorporado en el proceso, mayor cantidad de dechaza obtenida en el decachazado.

Tabla 29. Prueba DMS factor B (cantidad de cachaza generada)

Factor B	Media	Rango
B1	26,18	a
B2	35,97	b
B3	39,45	c

La prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor B (temperatura) indica tres rangos en cada nivel, notándose una diferencia significativa en cada uno de ellos, el nivel que presenta valores con mayor cantidad de cachaza obtenida corresponde al B3 (100°C).

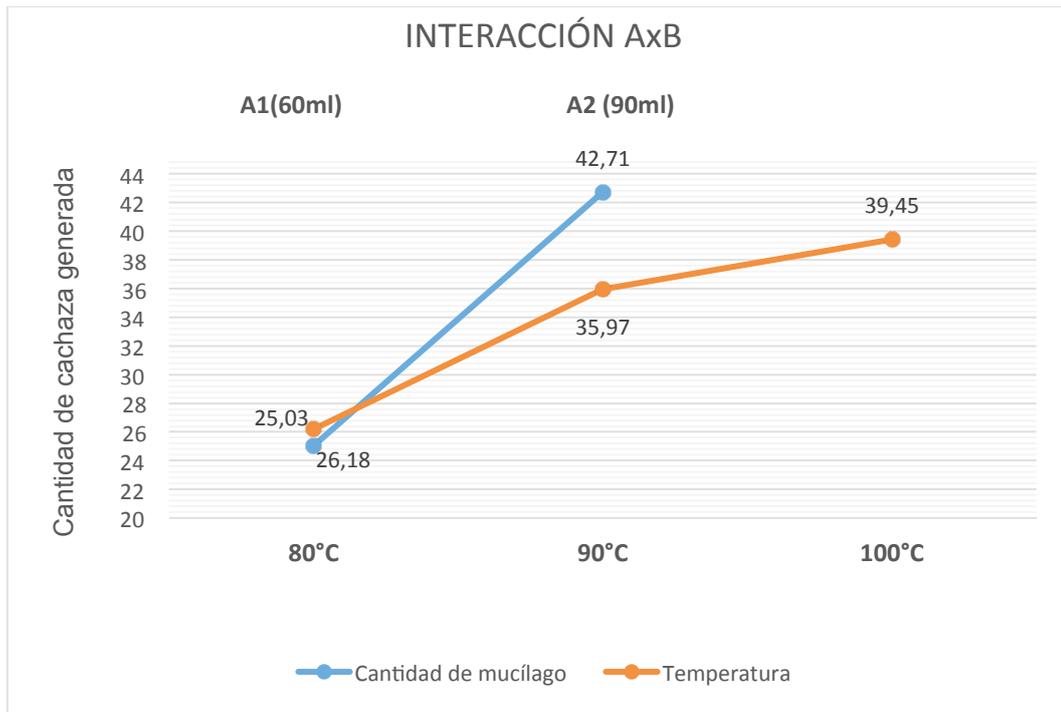


Figura 29. Interacción AxB (cantidad de cachaza generada)

La generación de cachaza muestra la efectividad del poder clarificante del mucílago, es por esto que a mayor cantidad de residuos que se obtenga del descachazado, mayor porcentaje de remoción de sólidos insolubles del jugo tendremos. Para esto, la figura 11 sugiere la aplicación de temperaturas > 90°C aumentando así mismo la cantidad de mucílago, factores que indican valores medios comprendidos entre 39,45 y 42,71g de cachaza obtenidos en las unidades experimentales de esta investigación.

4.2.4. pH

Para esta variable se tomó datos al inicio y al final del proceso de clarificación. Los valores de pH para cada tratamiento en la etapa final se muestran a continuación:

Tabla 30. Datos experimentales de cantidad de pH

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
A1B1	6,04	6,05	6,05	18,14	6,04
A1B2	6,02	5,9	6	17,92	5,97
A1B3	6,03	6,02	6,06	18,11	6,03
A2B1	6,05	6,03	6,02	18,10	6,03
A2B2	5,93	6	6,2	18,13	6,04
A2B3	6,05	6	6,03	18,08	6,03
Testigo	5,85	5,8	5,92	17,57	5,86
Σ Repeticiones	42	41,85	42,31	126,16	6,01

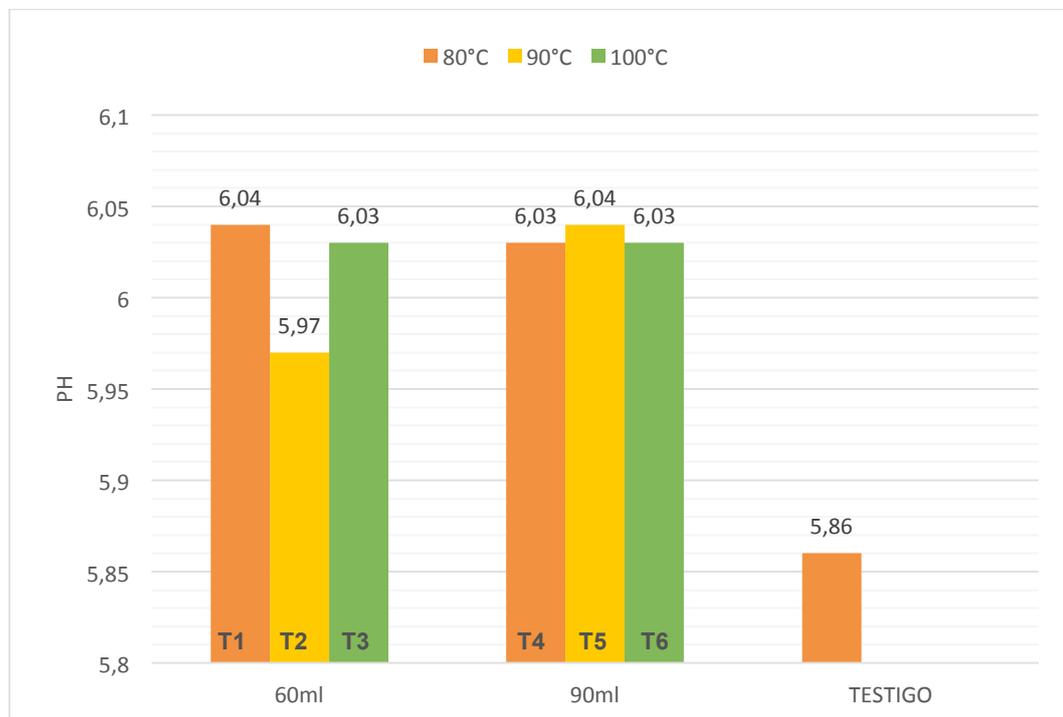


Figura 30. Datos experimentales de pH

La figura 12 presenta los valores promedios obtenidos de pH en cada uno de los tratamientos en estudio. Todos estos valores se encuentran dentro del rango de pH necesario en el proceso de clarificación (5.8-6.2).

Los datos de pH obtenidos en esta investigación no tienen una variación considerable, tal y como lo afirma Andrade y Rivadeneira (2010), quienes en su investigación concluyeron que el pH no varía significativamente con el uso de mucilago de Nopal, a diferencia de los argumentos de otros autores como Gallardo y Gallardo quienes vieron que el valor de acidez se intensifica conforme decrece la limpieza del proceso, esto quiere decir que cualquier mejora en la asepsia del mismo contribuye a tener un pH alto. Obtuvieron un valor promedio de pH de 5,3, considerándolo bajo para el requisito mínimo para este proceso.

Tabla 31. Análisis de varianza para cantidad de pH

Análisis de Varianza							
FV	SC	GL	CM	Fcal	SIGNIFICA	Ftab	
						5%	1%
Total	0,16	20					
Tratamientos	0,11	6	0,02	2,44658635	NS	2,85	4,46
A	0,01	2	0,01	1,50261044	NS	3,74	6,51
B	0,00	1	0,00	0,2375502	NS	4,60	8,86
A*B	0,01	2	0,01	1,62911647	NS	3,74	6,51
Test VS Resto	0,08	1	0,08	20,1785141	**	4,60	8,86
Error	0,06	14	0,00				
CV	1,05						

**.: Altamente significativo

*.: Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza muestra que no existe una diferencia mínima significativa entre el factor A (cantidad de mucílago), el factor B (temperatura) ni en su interacción, pero es altamente significativo a comparación con el tratamiento testigo.

Al no haber significancia en los valores obtenidos de pH, se demuestra que ni la temperatura ni la cantidad de mucílago incorporado al jugo en el proceso de clarificación afectan significativamente en el pH.

Tabla 32. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (pH)

Tratamiento	Media	Rango
Testigo	5,86	a
T2	5,95	b
T6	6,03	b
T5	6,04	b
T4	6,05	b
T3	6,05	b
T1	6,07	b

Mediante la prueba de Tukey se puede ver que existen dos rangos para los tratamientos; Rango A en el que se encuentra el tratamiento testigo que diferencia a los demás tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 que se encuentran en el rango B ya que no existe una diferencia significativa.

4.2.5. DENSIDAD

En esta variable, se tomó datos al final de cada tratamiento, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 33. Datos experimentales de densidad

Tratamientos	Repeticiones			Σ Tratamientos	Media
	I	II	III		
A1B1	1,0813	1,0832	1,0801	3,2446	1,0815
A1B2	1,0903	1,0894	1,0883	3,2680	1,0893
A1B3	1,0827	1,0870	1,0821	3,2518	1,0839
A2B1	1,0813	1,0800	1,0810	3,2423	1,0808
A2B2	1,0846	1,0853	1,0889	3,2588	1,0863
A2B3	1,0886	1,0707	1,0867	3,2461	1,0820
Testigo	1,0857	1,0837	1,0855	3,2549	1,0850
Σ Repeticiones	7,5945	7,5793	7,5927	22,7664	1,0841

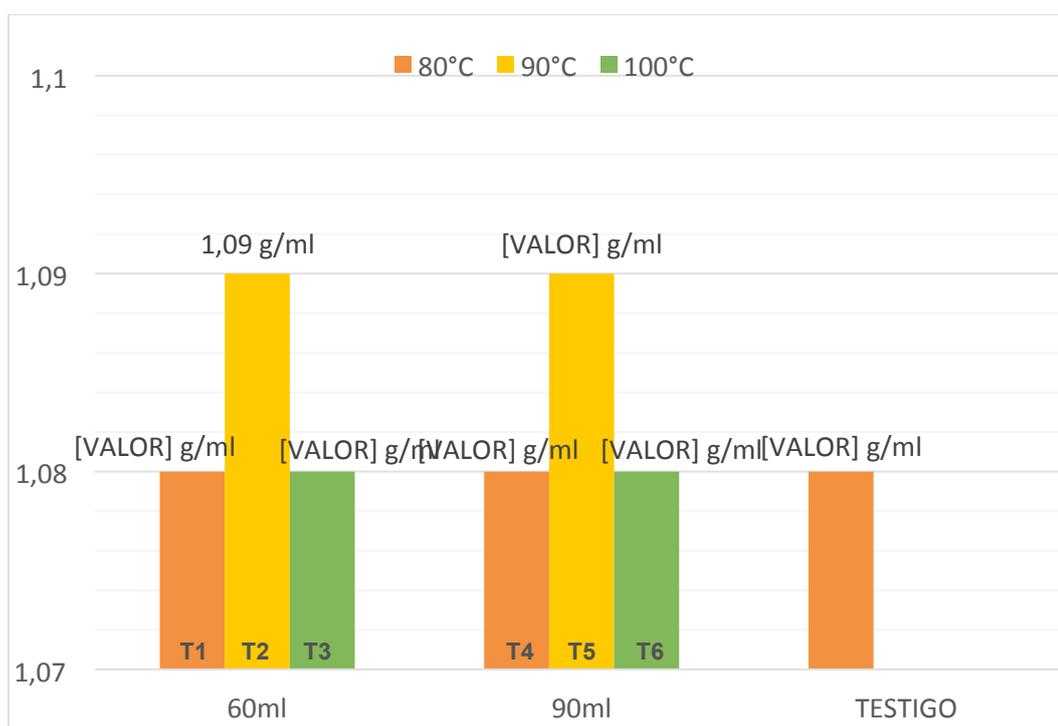


Figura 31. Datos experimentales de densidad

En la figura 30 se indican los valores promedios de cada tratamiento para densidad correspondientes a cada uno de los tratamientos en estudio. Se identifica que todos los valores se encuentran en el mismo rango.

Quezada y Gallardo (2014) en su investigación de plantas mucilaginosas concluyen que gracias a que los mucílagos extraídos presentan valores ligeramente superiores a 1 000 kg/m³, no afecta la densidad del jugo a la hora de añadirse a este en la etapa de clarificación, argumento que concuerda con los datos no significativamente variables de densidad en esta investigación.

Caso contrario, lo expresa la Revista Española de Ciencia y Tecnología Alimentaria, que en su investigación de jugos clarificados, muestra que la caña de azúcar, a medida que la temperatura aumenta, la densidad disminuye.

Tabla 34. Análisis de varianza para la densidad

Análisis de Varianza								
FV	SC	GL	CM	Fcal	SIGNIFICA	Ftab		
						5%	1%	
Total	0,0003937	20						
Tratamientos	0,0001643	6	0,0000274	1,67172709	NS	2,85	4,46	
A	0,0001416	2	0,0000708	3,32015742	NS	3,74	6,51	
B	0,0000165	1	0,0000165	1,00546751	NS	4,60	8,86	
A*B	0,0000038	2	0,0000019	0,1172663	NS	3,74	6,51	
Test VS Resto	0,0000025	1	0,0000025	0,1500476	NS	4,60	8,86	
Error	0,0002294	14	0,0000164					
CV	0,37							

**.: Altamente significativo

*.: Significativo

NS: No significativo

Al igual que en la variable de pH, el análisis de varianza muestra que no existe una diferencia significativa entre el factor A (cantidad de mucílago), el factor B

(temperatura) en su interacción, ni en la comparación del testigo frente a los demás tratamientos. Al tener una diferencia no significativa en los tratamientos se concluye que ni la temperatura ni la cantidad de mucílago incorporado al jugo en el proceso de clarificación afectan la densidad. En la tabla 35 se observa que todos los valores de densidad de los tratamientos se encuentran en el mismo rango.

Tabla 35. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (densidad)

Tratamiento	Media	Rango
T4	1,08	a
T1	1,08	a
T6	1,08	a
T3	1,08	a
Testigo	1,08	a
T5	1,09	a
T2	1,09	a

4.2.6. °Brix

Para esta variable se tomó datos al inicio y al final de proceso de clarificación del jugo, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 36. Datos experimentales de cantidad de °Brix

Tratamientos	Repeticiones			∑ Tratamientos	Media
	I	II	III		
A1B1	21	21,5	21	63,5	21,17
A1B2	20	20,5	20	60,5	20,17
A1B3	22,2	21,9	22	66,1	22,03
A2B1	20,5	20,3	20,2	61	20,33
A2B2	19,1	19	19,7	57,8	19,27
A2B3	19,8	19,5	19,8	59,1	19,70
Testigo	23,2	23,6	22	68,8	22,93
∑ Repeticiones	145,8	146,3	144,7	436,8	20,80

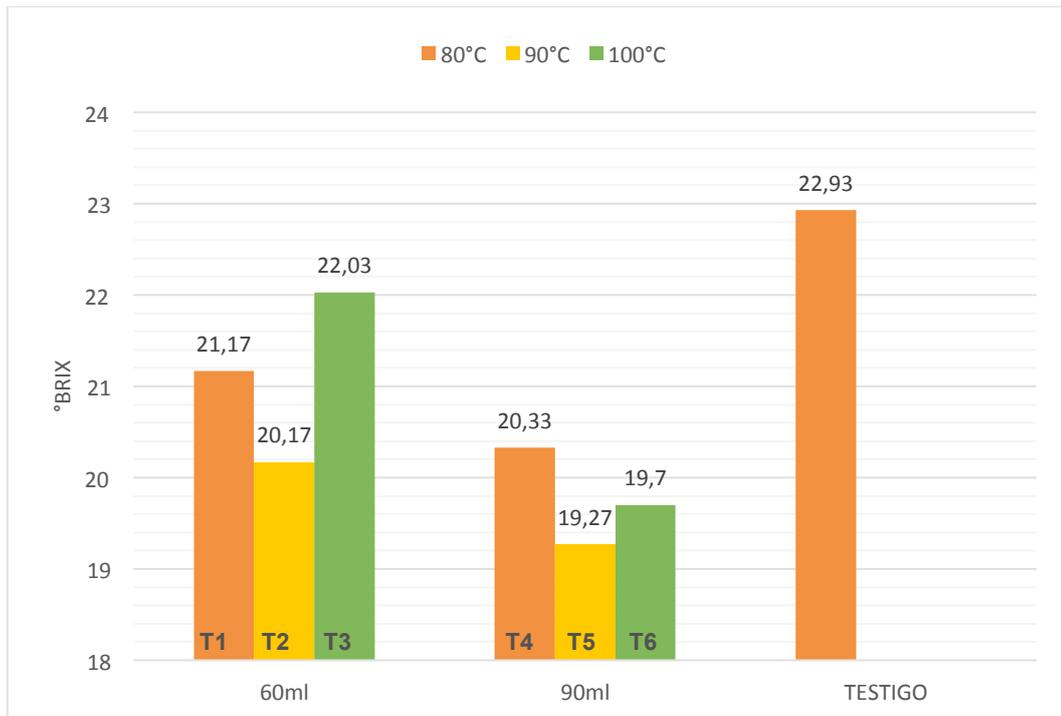


Figura 32. Datos experimentales de °Brix

En la figura 31 se indican los valores promedios de °Brix en cada uno de los tratamientos en estudio. Aquí se puede identificar los mejores tratamientos; T1 (60ml + 80°C), T3 (60ml + 100°C) y T4 (90ml + 80°C).

Se puede observar que los °Brix se ven afectados por ambos factores, en el factor A se puede encontrar una variación significativa de °Brix en temperaturas altas, y en el factor B se observa que a medida que se incorpora más cantidad de mucílago, los °Brix tienden a disminuir.

Játiva y Loaiza (2010) afirman también que en cuanto incrementa las temperaturas del jugo aumenta los valores de °Brix obteniendo los mejores tratamientos para clarificantes naturales con solución de corteza de balsa a 70°C con un valor de 21.83 °Brix, y solución de gel de yausabara a 70°C con un valor de 21.50°Brix.

Tabla 37. Análisis de varianza para cantidad de °Brix

Análisis de Varianza							
FV	SC	GL	CM	Fcal	SIGNIFICA	Ftab	
						5%	1%
Total	33,32	20					
Tratamientos	31,16	6	5,19	33,6604938	**	2,85	4,46
A	4,81	2	2,40	15,5807613	**	3,74	6,51
B	8,27	1	8,27	53,5946502	**	4,60	8,86
A*B	2,15	2	1,08	6,98199588	**	3,74	6,51
Test VS Resto	15,93	1	15,93	103,242798	**	4,60	8,86
Error	2,16	14	0,15				
CV	1,89						

**.: Altamente significativo

*.: Significativo

NS: No significativo

Mediante la prueba de Tukey, se observa que existen cuatro rangos, donde los tratamientos que se encuentran dentro de los rangos A, B y C; T4 (90ml + 80°C), T1 (60ml + 80°C) y T3 (60ml + 100°C). El tratamiento testigo se encuentra con el valor más alto de °Brix (22,93°) ubicándose en el rango D.

Tabla 38. Tabla de Tukey al 5% para tratamientos (°Brix)

Tratamiento	Media	Rango
T5	19,27	a
T6	19,70	a
T2	20,17	a b
T4	20,33	a b
T1	21,17	b c
T3	22,03	c d
Testigo	22,93	d

Tabla 39. Prueba DMS para el factor A (°Brix)

Factor A	Media	Rango
A2	19,77	a
A1	21,12	b

En la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor A (cantidad de mucílago) muestra dos rangos, encontrando que el nivel con mayores valores de °Brix corresponde al A1 (60ml), por lo tanto, a menor cantidad de mucílago, mayor cantidad de °Brix.

Tabla 40. Prueba DMS para el factor B (°Brix)

Factor B	Media	Rango
B2	19,72	a
B1	20,75	b
B3	20,87	b

La prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor B (temperatura) indica dos rangos, encontrando que el nivel con mayores valores de °Brix corresponde al B3 (100°C), por lo tanto, esta es la temperatura más adecuada en este proceso gracias al aumento de porcentaje, lo que favorece en tiempos menores de concentración de las mieles.

De la misma manera, autores como Causerth y Rivera (2006) exponen un estudio de la concentración de jugo de caña, y señalan que a medida que se incrementa la temperatura en el los procesos de clarificación y evaporación del jugo hasta formar mieles, la concentración del mismo aumenta, pasando de 18.5° Brix iniciales con una temperatura de 20°C, hasta los 110°C presentando rangos de 60-65°Brix.

4.3. ANÁLISIS DE COLOR EN LA PANELA

Mediante el análisis de color en la panela en sus tres mejores tratamientos y testigo (T2, T3, T6), se realizó el análisis de color donde se evaluó los °Hue (0°-360°) para determinar el color exacto que estas muestras presentan y el croma para determinar la pureza que este color presenta en una escala 1-50. A continuación se presenta de manera gráfica los resultados obtenidos.

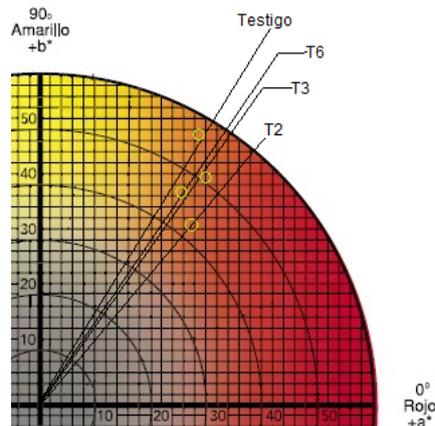


Figura 33. Análisis de color en la panela

En la figura 10 se aprecia como los tratamientos que más se acercan al testigo (clarificación con hidrosulfito de sodio) es el T6 y T3, los cuales presentan un promedio de 56,45° Hue, con una pureza de color en croma promedio de 43,61 presentando un color anaranjado rojizo pálido y anaranjado brillante respectivamente. En estos dos tratamientos se utilizó una temperatura de 100°C, por lo que se evidencia que el incremento de la temperatura en la clarificación ayuda a que haya mayor generación de cachaza en los jugos de caña y por ende el jugo este más limpio.

Gallardo (2015) encuentra muestras de color amarillo profundo oscuro y anaranjado en diversos tonos, lo cual concluye que se ha producido bajo

condiciones de clarificación natural y de un control adecuado de parámetros del proceso y que tienen aceptación por la calidad del producto.

Otras investigaciones que han analizado el color de la panela como la de Quezada (2011), utiliza un abanico colorimétrico que muestra 23 escalas de colores comprendidas entre amarillo anaranjado brillante hasta el marrón oscuro estableciendo el nivel 7 y 8 como los más adecuados para producir panela, ya que estos colores representan el estado puro de la panela, libre de químicos que atribuyen colores demasiado pálidos en el producto, y que no son totalmente aceptados en el mercado.

4.4. EVALUACIÓN SENSORIAL

Esta evaluación se llevó a cabo con la colaboración de un panel degustador de 15 personas, quienes registraron su percepción de los tres mejores tratamientos (T2, T3, T6) en atributos de color, olor, sabor, dureza y aceptabilidad en la ficha de evaluación sensorial (Anexo 2). Los resultados se analizaron a través de Friedman al 5% en una escala de cinco niveles (muy agradable, agradable, es indiferente, desagradable y muy desagradable). Mediante la prueba de Friedman al 5% muestra diferencia estadística altamente significativa, lo cual permite afirmar que los tratamientos no son iguales.

- **Color**

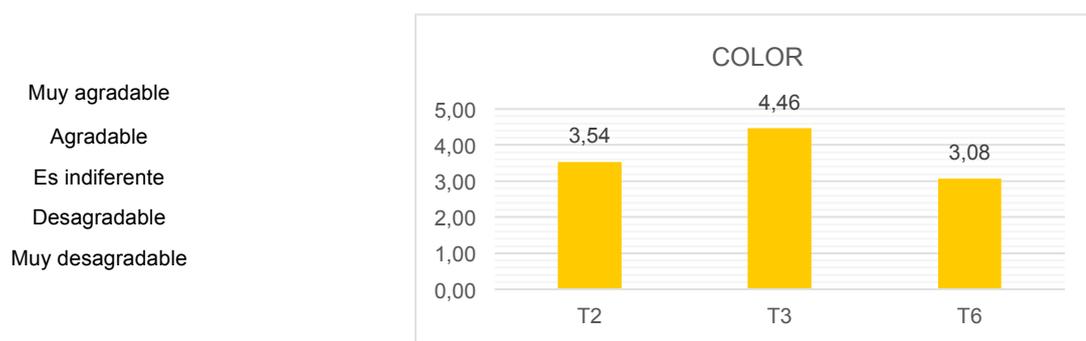


Figura 34. Puntuación de color en la panela

La figura 33 indica el color de las muestras de panela en los tres mejores tratamientos con mayor puntuación para el T3, que, si bien no era el más claro a simple vista, es el color que mayor acogida tubo en los degustadores, quienes expresaron que un color demasiado claro en la panela, como lo era el del T6, era desagradable y que lo asimilaban con un estado de descomposición del mismo. Por otro lado, el T2 fue notablemente más oscuro que los dos tratamientos anteriores, pero obtuvo una calificación media entre ellos. Esto indica que el color ideal de la panela se encuentra entre un naranja pálido.

- **Olor**

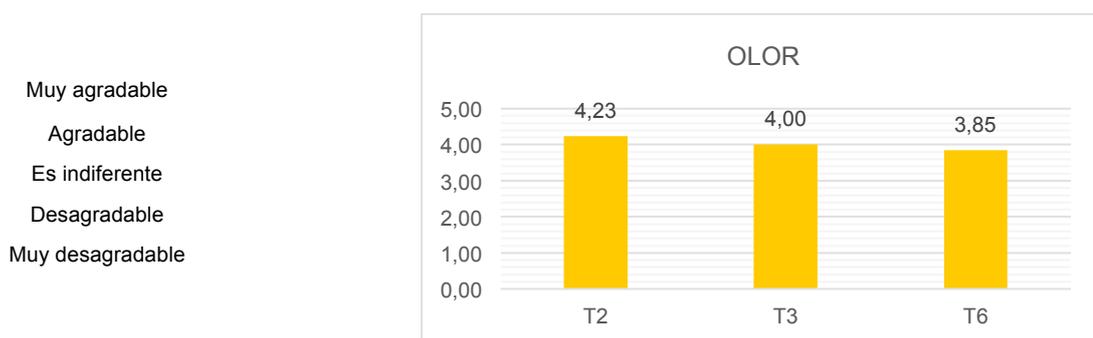


Figura 35. Puntuación de olor en la panela

En la figura 34 se observar que panel degustador dio a conocer su preferencia por el T2, expresando que es el tratamiento que más se acerca al olor dulce característico de la panela; caso contrario que el T6, que fue calificado con puntuación menor, debido a que, en las observaciones de los degustadores, indicaron que éste tenía aromas ajenos a la panela.

Entre las cantidades de mucílago que tiene estos tratamientos T6 (90 ml) y T2(60ml), se puede concluir que la cantidad del mucílago influye en el olor que la panela presente, esto quiere decir que entre menos cantidad de mucílago que tenga la panela, se conservará el olor dulce característico de la misma.

- **Sabor**

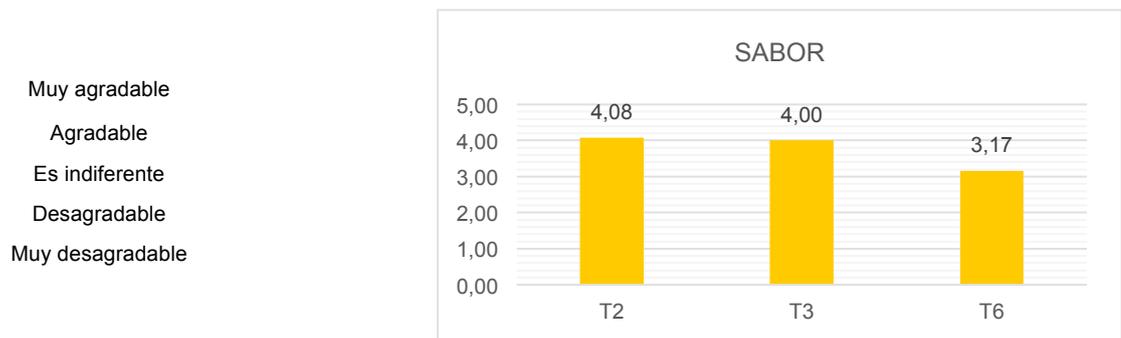


Figura 36. Puntuación de sabor en la panela

En la figura 35 se observa puntuaciones similares entre los tratamientos T2 y T3 como puntajes mayores, que, mediante los comentarios de los panelistas, supieron manifestar su agrado por estos tratamientos. El tratamiento T6 obtuvo la menor puntuación, mostrando un sabor desagradable a planta, como lo expresaron en los comentarios de la evaluación sensorial. Esto se debe, al igual que en la variable de olor, la cantidad de mucílago que se emplee, puede influir en el sabor de la panela.

- **Dureza**

Muy agradable
Agradable
Es indiferente
Desagradable

Muy desagradable

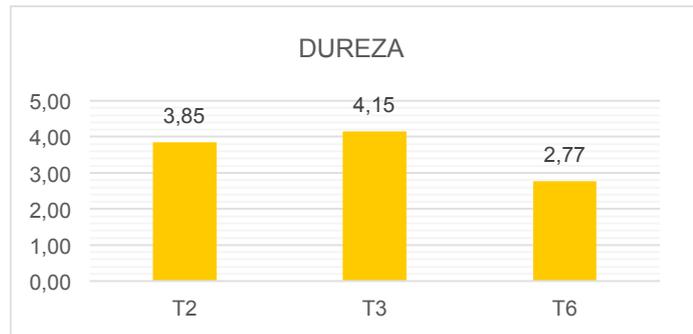


Figura 37. Puntuación de dureza en la panela

En este caso, la figura 36 indica que el T6 es el menos apreciado, debido a que su textura se torna dura, lo que lo hace difícil de trocear. El T3 mostro una dureza media, característica óptima para la aceptación de la panela, al contrario de la dureza presentada en el T6, la suavidad o blandes de la misma se puede atribuir a un exceso de mucílago, y entre otros factores al estado de descomposición de la panela.

- **Aceptabilidad**

Muy agradable
Agradable
Es indiferente
Desagradable
Muy desagradable

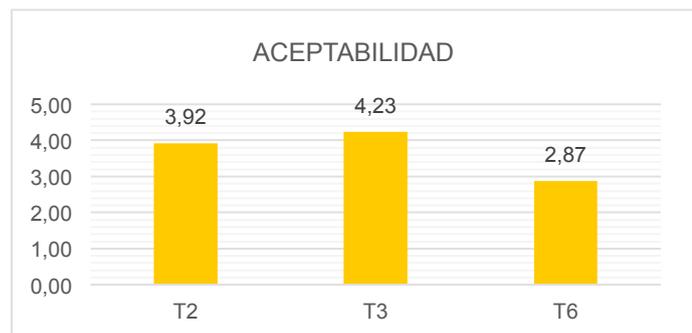


Figura 38. Puntuación de aceptabilidad en la panela

La figura 37 muestra la aceptabilidad del T3, siendo el tratamiento que mayor calificación obtuvo en las variables evaluadas, seguido por el T2. El cual obtuvo mayor puntaje en el caso de color. Estos tratamientos mostraron una panela muy

agradable, en cuando a sabor, olor y dureza. Por último, se tiene el T6 que fue el de menor acogida en esta evaluación, presentando un color naranja claro no agradable, con aroma y sabor ajeno a la panela y una textura demasiado dura para el consumo de la misma.

4.5. BALANCE DE MATERIALES

4.4.1. BALANCE DE MATERIALES DEL MUCÍLAGO DE NOPAL

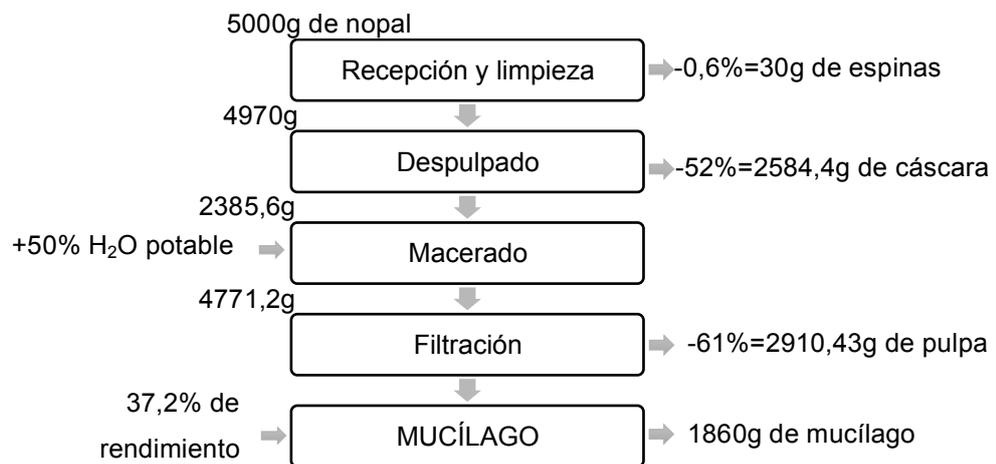
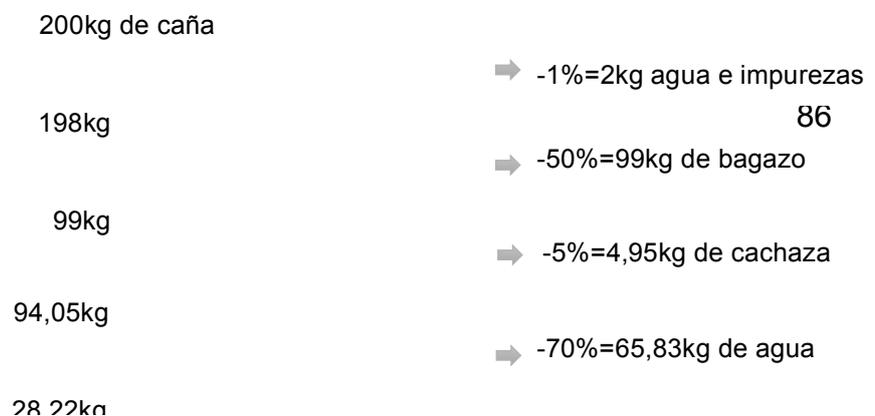


Figura 39. Balance de materiales del mucílago de nopal

4.4.2. BALANCE DE MATERIALES DE PANELA



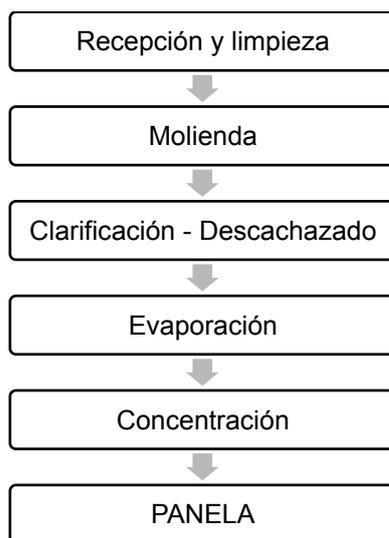


Figura 40. Balance de materiales de la panela

4.6. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Tras realizar esta investigación, se analizaron los costos iniciales y cotidianos de que tiene este proyecto en comparación con los beneficios que presenta, con el objetivo de ver la viabilidad de producción de panela con el uso del mucílago de nopal. A continuación, se presenta los valores aproximados de costos de esta investigación:

Tabla 41. Costos del Proyecto

Costos Iniciales		Costos Cotidianos		Beneficio	
Rubro	Costo	Rubro	Costo/día	Beneficio/ día	Costo
Molino de Rodillos	3.500,00	Mano de Obra	15,00	Ingresos (300 panelas)	84,00
Pailas Clarificadoras	800,00	Transporte	5,00	Ahorro por arriendo	4,50
Turbidimetro HANNA	125,00	Servicios Básicos	1,50		
Termómetro	15,00	Caña	20,00		
Balanza	25,00	Pencas de nopal	2,50		
Utensilios	40,00	Empaque	0,90		

Moldes	20,00				
TOTAL	4525,00	TOTAL	44,9	TOTAL	88,50

Por lo tanto, con una inversión inicial de \$4525,00 dólares, se puede generar un total de \$43,60 dólares (\$88,50 de beneficios - \$44,90 costos cotidianos), lo que significaría \$872 mensuales de ingresos, generando un tiempo aproximado de 5 meses de recuperación de capital, por lo que es notable la viabilidad de producir panela en las Unidades Eduproductivas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis fisicoquímico del Nopal registró la presencia de coagulantes catiónicos por su contenido de calcio (Ca), que ayudan a desestabilizar las cargas

negativas de los coloides del jugo de caña que permiten su coagulación y floculación.

- Se concluye que las variables con mayor nivel de significancia son: color (luminosidad), turbidez, cantidad de cachaza generada y °Brix ya que se ven afectadas por el incremento de temperatura y cantidad de mucílago incorporado al proceso de clarificación.
- Los valores de pH y densidad evaluados en cada unidad experimental no presentan diferencia mínima significativa, por lo que se concluye que ni la temperatura, ni la cantidad de mucílago incorporado en la clarificación influyen en estas variables.
- Se pudo observar que el efecto de la temperatura (factor A) en el proceso de clarificación tiene mayor influencia sobre las características físico-químicas y organolépticas de la panela, ya que, con el incremento 10°C a cada tratamiento, afecta considerablemente las variables cuantitativas y cualitativas de la misma.
- De los tres mejores tratamientos, estadísticamente el T6 fue el que mejores resultados obtuvo en los análisis, mientras que el T2 y T3 tuvieron mayor aceptabilidad en el panel de degustadores ya que las características organolépticas fueron calificadas con puntajes más altos, dando a conocer que el color es un factor crítico a la hora de aceptación de la panela.
- Se acepta la Hipótesis Alternativa planteada al inicio de esta investigación, es decir, la cantidad de mucílago de nopal y la temperatura en la clarificación del jugo de caña influyen en las características físico-químicas del jugo y organolépticas de la panela.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para posteriores estudios de clarificantes del jugo de caña se recomienda usar un método automatizado para el proceso de agitación, con un control preciso

del tiempo y fuerza que se aplique para obtener resultados más exactos en las variables.

- Así mismo, se recomienda evaluar la velocidad de sedimentación con las que los floculo forman cachaza, para ver la efectividad y rendimiento que puede tener el método utilizado.
- Se recomienda además experimentar la efectividad del mucílago del nopal en distintos líquidos que requieran procesos de clarificación, coagulación, floculación, etc.
- Investigar y experimentar los diferentes usos que pueden tener los residuos de cladiolos de nopal para una reprocesamiento debido a la alta cantidad de cáscara que se genera, lo que podría ser beneficioso para diferentes ámbitos de la agroindustria.
- Se recomienda realizar un estudio de factibilidad para el procesamiento de panela en las Unidades Eduproductivas con el fin de reforzar los conocimientos de los estudiantes de manera práctica en la cátedra de Industria Azucarera, beneficiando al mismo tiempo a la productividad de la Institución.
- Se sugiere dar apoyo al sector artesanal de la provincia con estas alternativas como parte de las actividades de vinculación que tiene la Universidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A., Godoy, M., Torres, M. Reyes, J. (2007). Caracterización físico-química del fruto de la tuna. *Alimentos Ciencia e Ingeniería* 16(2):173-178
- Amaya Robles, J. E. (2009). “EL CULTIVO DE TUNA” *Opuntia ficus indica*. Trujillo, Perú: Gerencia Regional Agraria.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. *Planta de Tratamiento de Agua Sedapal*.
- Bolívar, J. (2009). CORANTIOQUIA.
- Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento del Agua: Coagulación y Floculación*. Lima.
- Castro, D. (2010). *Reingeniería Panelera*. Buos Editores.
- Causerth, L., & Rivera, W. (2006). MIELES EN LA INDUSTRIA AZUCARERA. *Introducción Agroindustria III*.
- Chaves, M. A. (2002). LA MADURACION, SU CONTROL Y LA COSECHA DE LA CAÑA DE AZUCAR. *Seminario de Tecnología Moderna de la Caña de Azúcar*.

Clerque, M., & Gudiño, S. (2010). *Determinación de los parámetros óptimos del proceso para la estabilización del mucílago de Nopal (Opuntia Spp.) con fines Industriales*. Ibarra.

Cobeña, J. (2016). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE CINCO VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN LA HACIENDA EL JARDÍN.

Cobo, L., Aparico, J., & Solano, H. (2014). Diseño de un sistema de instrumentación y monitoreo de las variables en el proceso de dosificación de carbonato de calcio CaCO_3 para la producción de panela. *Matices Tecnológicos 6ta Edición*.

Cogollo, J. (2010). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *Bdigital*.

Cogollo, J., & Rhenals, A. (2003). Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de aguas de una embotelladora de bebidas. *Montería Trabajo de Grado Ingeniero de Alimentos*.

Demera, F., Almeida, A., Moreira, J., Zambrano, L., Loor, R., & Cedeño, D. (2015). Clarificación del jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) mediante el empleo de mucilagos naturales. *Alimentos Hoy*.

FAO. (2007). *Panela Production as a Strategy for Diversifying Incomes in Rural Area of Latin*.

Fisher Scientific, & Deltrex Chemicals. (6 de Agosto de 2003). Material Safety Data Sheet, Sodium Hydrosulfite.

Freire Reyes, A. E., & Landázuri Ortiz, R. K. (2011). Determinación de los requisitos mínimos de calidad para Panela, Azúcar Orgánico y Miel Hidrolizada en la provincia de Imbabura.

García , H. (2007). *Guía Tecnológica Para El Manejo Integral Del Sistema Productivo de la Cana Panelera*. Bogotá: CORPOICA.

García , H., Albarracín, L., & Toscano, A. (2007). Guía tecnológica. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 54.

Ghafari, S., Abdul, H., Hasnain , M., & AKBAR, A. (2008). Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *Journal of Hazardous Materials*.

Hidalgo, K. (2009). Post cosecha y procesamiento de Nopal. *Agro Innovacion*.

Jácome, H., Naranjo , M., & Burgos, S. (2010). Boletín Mensual de Análisis Sectorial del MIPYMES No. 3. *Centro de Investigaciones Económicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa*.

Linares, V. M. (2012). Aspectos Nutricionales de la Panela. *Producción y Recomendaciones Tecnológicas para el Cultivo de la Caña en Guaviare*.

López, L., Gonzalo, J., Osorio, G., & Delgado , O. (2005). Conservación, simbra, manejo y utilización de las especies aglutinantes mas importantes en la agroindustria panelera. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA)*.

Maki-Dias, G., Peña, C., García, R., Arévalo, L., Calderón , G., & Anaya , S. (2014). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Revista Scielo*.

Marín, L. (2012). DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES APROPIADAS DE PREPARACIÓN DE UN FLOCULANTE COMO COMPONENTE FUNDAMENTAL EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE JUGO EN RIO PAILA CASTILLA S.A, PLANTA RIOPAILA.

Mesa, I. Á. (2011). Los sulfitos como conservantes y su control en los alimentos: ¿Beneficio o riesgo para la salud? *Madrid Salud*.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). *Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de la Panela y su Agroindustria en Colombia*.

Ortiz, C., Solano, D., Villada, H., Mosquera, S., & Velasco, R. (2011). Extracción y secado de floculantes naturales usados en la clarificación de jugos de caña. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.

Ortiz, H. (2001). Cogeneración a través de residuos de la Industria panelera. *Ecos* 21.

Osorio, G. (2007). Buenas Prácticas Agrícolas BPA y Buenas Prácticas de Manufactura BPM en la Producción de Caña de Azúcar y Panela. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO*, 97-144.

Pradilla, F. (2004). Clarificación de aguas., Barranquilla. *Química Nalco de Colombia S.A.*

Quezada Moreno, W. F., & Gallardo Aguilar, I. (2014). Obtención de extractos de plantas mucilaginosas para la clarificación de jugos de caña. *SciELO*.

Quezada, W. (2007). *Guía Técnica de Agroindustria Panelera*.

Revista Acero Latinoamericano. (2015). *Industrias I*. Buenos Aires.

Roman, J. (2007). Determinar los parámetros adecuados de Conservación en Lata de Tunas (*Opuntia ficus-indica*). *Universidad José Carlos Mariátegui*.

- Romero, J., & Gómez, R. (2014). Zumos de la industria alimenticia.
- Sáenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del Nopal. En *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*. Roma.
- Salvador, B. (2006). *Química de los Alimentos, Cuarta edición*. México.
- Sarahí, G. (2014). Optimización de la extracción del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.
- Torres, A. (2010). Composición Química del Nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (Experiencias de Brasil). *Producción y Aprovechamiento del Nopal y el Maguey*. Paraíba.
- Valdivieso, P. (2005). Estudio de 5 variedades de cladiolo de Nopal Silvestre T.U.
- Vera, L. V. (2009). Cultivo de Caña de Azúcar. *Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección de Educación Agraria*, 62-63.
- Villabona, A., Paz, I., & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*.
- Villabona, A., Paz, I., & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana Biotecnológica*.
- Villalta, W. (2012). *Beneficios de la panela producida orgánicamente frente al azúcar blanca (Monografía)*. Cuenca.
- Zossi, B., Cárdenas, G., Sorol, N., & Sastre, M. (2012). Análisis del proceso de sulfitación en la remoción de compuestos no azúcares en jugos de variedades de caña de Tucumán. Argentina. *Industria y Agricultura de Tucumán*.

ANEXOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN SENSORIAL

“EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL USO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL *Opuntia ficus-indica* Y LA TEMPERATURA EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE CAÑA SOBRE EL COLOR DE LA PANELA”.

La evaluación sensorial es un instrumento eficaz para el control de calidad y aceptabilidad de un alimento desde el punto de vista del consumidor mediante el uso de los sentidos del cuerpo humano.

INSTRUCCIONES

Examine y valore detenidamente cada muestra y marque con una X en el casillero que describa su percepción sensorial en base a la siguiente información:

COLOR: Se evaluará la impresión visual del producto de acuerdo a su preferencia.

OLOR: Debe ser un olor característico de la panela, agradable al olfato; se considerará como defecto aromas de descomposición.

SABOR: La panela debe ser dulce, exenta de amargor y sabores ajenos a la misma.

DUREZA: Debe presentar una consistencia firme y medianamente dura. Los defectos serán que se encuentre blanda y/o frágil.

ACEPTABILIDAD: Será de acuerdo a su preferencia en aceptar o rechazar la panela en base a la escala establecida.

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA PANELA

CARACTERÍSTICA	ALTERNATIVA	MUESTRAS		
		T2	T3	T6
COLOR	Muy agradable			
	Agradable			
	Es indiferente			
	Desagradable			
	Muy desagradable			
OLOR	Muy agradable			
	Agradable			
	Es indiferente			
	Desagradable			
	Muy desagradable			
SABOR	Muy agradable			
	Agradable			
	Es indiferente			
	Desagradable			
	Muy desagradable			
DUREZA	Muy agradable			
	Agradable			
	Es indiferente			
	Desagradable			

	Muy desagradable			
ACEPTABILIDAD	Muy agradable			
	Agradable			
	Es indiferente			
	Desagradable			
	Muy desagradable			

Norma Técnica Ecuatoriana	PANELA SÓLIDA REQUISITOS	NTE INEN 2331:2014
---------------------------------	--------------------------	-----------------------

1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la panela sólida destinada para consumo humano.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN 388 *Conservas vegetales. Determinación de sólidos en suspensión*
 NTE INEN-CODEX 193 *Norma general para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos*
 CPE INEN-CODEX 1 *Principios generales de higiene de los alimentos*
 NTE INEN-CODEX 192 *Norma general del CODEX para los aditivos alimentarios*
 NTE INEN 265 *Azúcar. Determinación de la humedad. (Método de rutina)*
 NTE INEN 266 *Azúcar. Determinación del azúcar reductor*
 NTE INEN 267 *Azúcar. Determinación de cenizas de conductividad*
 NTE INEN 268 *Azúcar. Determinación de cenizas de conductividad*
 NTE INEN 269 *Conservas vegetales. Determinación del contenido de arsénico*
 NTE INEN-ISO 1529-10 *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad.*
 NTE INEN 1334-1/1334-2 *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Requisitos.*
 NTE INEN ISO 633 *Frutas, hortalizas y productos derivados. Determinación del contenido de plomo. Método de espectrometría de absorción atómica sin llama.*
 Official Method AOAC 985.35, *Minerals in Infant Formula, Enteral Products, and Pet Foods. Atomic Absorption Spectrophotometric Method.*
 Official Method AOAC 995.11, *Phosphorus (Total) in foods, Colorimetric Method.*
 Official Method AOAC 923.09 *Método volumétrico Lane-Eynon*

3. TERMINOS Y DEFINICIONES

3.1 Caña de azúcar. Es la procedente de cualquier variedad de la planta gramínea *Saccharum officinarum* L.

3.2 Panela sólida. Producto sólido de cualquier forma y presentación proveniente de la evaporación de jugo de caña de azúcar *Saccharum officinarum*, sin centrifugar, que contiene microcristales anhedrales no visibles al ojo humano, manteniendo sus elementos constitutivos como sacarosa, glucosa y minerales, no provenientes de la reconstitución de sus elementos.

3.3 Panela defectuosa. Es la que presenta uno o más de los siguientes defectos: manchas de color diferente al característico de la panela, cámaras de aire, consistencia blanda (ameloachada), despostillada o partida, infestada con insectos vivos, presencia de impurezas o materia extraña.

4. CLASIFICACIÓN

De acuerdo al contenido de sólidos sedimentables la panela sólida se clasifica según la tabla 1.

Tabla 1. Sólidos sedimentables

Clase	Máx g/100 g de panela	Método de ensayo
Extra	0,1	NTE INEN 388
Primera	0,5	
Segunda	1,0	

5. REQUISITOS

5.1 Generalidades

5.1.1 Las materias primas, los productos intermedios y los finales deben ser manipulados de conformidad con las secciones apropiadas del CPE INEN-CODEX 1 *Código Internacional de Prácticas Recomendado - Principios Generales sobre Higiene de los Alimentos*, recomendados por la CPE INEN-CODEX 1.

5.1.2 La panela puede presentar diferentes colores dependiendo de la materia prima usada, la variedad de la caña, las condiciones agro ecológicas y del proceso de elaboración.

5.1.3 En la elaboración de la panela no se permite el uso de hidrosulfito de sodio ni hiposulfito de sodio, ni otras sustancias químicas con propiedades blanqueadoras.

5.1.4 La panela sólida debe estar exento de materia extraña y de sustancias de uso no permitido. Los residuos de plaguicidas y sus metabolitos no deben superar los límites establecidos de acuerdo a la NTE INEN-CODEX 193

5.1.5 La panela sólida en cualquiera de sus clases debe estar libre materiales extraños sólidos de origen animal.

5.1.6 El porcentaje máximo de materias extrañas vegetales: tallos, hojas, otros, debe ser de 0,5 %.

5.1.7 El porcentaje máximo de materias extrañas inorgánicas: piedras, arena, polvo, debe ser de 0,1 %.

5.1.8 La panela sólida debe estar exenta de fragmentos metálicos.

5.1.9 La panela en bloque debe cumplir con los requisitos fisicoquímicos establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos físico químicos para la panela sólida

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
Azúcares reductores (glucosa), fracción en masa en %	5,5	-	AOAC 923.09
Proteínas, en % (N x 6,25)	0,5	-	NTE INEN 343
Potasio en mg/100 g	100,0	-	AOAC 985.35
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

5.1.10 La panela sólida debe cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 3 para el contenido máximo de contaminantes.

Tabla 3. Límite máximo de Contaminantes para la Panela

Requisitos	V		Método de ensayo
	Mínimo	Máximo	
Plomo expresado como Pb, en mg/kg	-	0,2	NTE INEN-ISO 8633
Arsénico expresado como As, en mg/kg	-	0,1	AOAC 988.15

5.1.11 La panela deberá cumplir con los requisitos microbiológicos establecidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Requisitos microbiológicos para la panela

Requisito	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					

6. MUESTREO

6.1 Muestreo

La cantidad de muestras y los criterios de aceptación y rechazo serán acordados por las partes de acuerdo con lo establecido en las siguientes normas técnicas:

- NTE INEN ISO 2859-1 para los procedimientos de inspección por atributo lote a lote de lotes continuos;
- NTE INEN- ISO 2859-2 para los procedimientos de inspección por atributos de lotes aislados;
- ISO 3951-1 para los procedimientos de inspección por variables de una serie continua de lotes y de una sola característica.
- NTE INEN 3951-2 para los procedimientos de inspección por variables de una serie continua de lotes, una sola característica y con una desviación estándar no mayor al 10% de la desviación estándar del proceso.

6.2 Aceptación o rechazo.

Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos indicados en esta norma se rechazará el lote. En caso de discrepancia, se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos. Cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar el lote.

6.3 Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en esta norma, se rechaza el lote.

7. ENVASADO Y ROTULADO

7.1 La panela sólida debe comercializarse en envases que aseguren la protección del producto contra la acción de agentes externos que puedan alterar sus características químicas, físicas, resistir las condiciones de manejo, transporte y almacenamiento; y que salvaguarde las cualidades higiénicas, nutricionales y organolépticas.

7.2 El rotulado del producto debe cumplir con lo establecido en la NTE INEN 1334-1 y 1334-2.

7.3 No debe contener leyendas de significado ambiguo, ni descripción de características que no puedan ser comprobadas.