UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención de Titulo de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA:

“INFLUENCIA DEL AGENTE COAGULANTE (CAL) EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA CRUDO DE LA INDUSTRIA PANELERA “EL VALLE”.

AUTOR:

Miguel Ángel Choto Malán

DIRECTOR DEL PROYECTO:

Dr. Amaury Pérez Martínez

PUYO - ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Los criterios emitidos en el proyecto de investigación: *"INFLUENCIA DEL AGENTE COAGULANTE (CAL) EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA CRUDO DE LA INDUSTRIA PANELERA ``EL VALLE``*, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Autor

_____

Miguel Ángel Choto Malán

C.I. 1727027425

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766 y Víctor Cerda Mejía con CI: 1802850022 certificamos que Miguel Ángel Choto Malán egresado de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica, realizó el Proyecto de investigación titulado: *"INFLUENCIA DEL AGENTE COAGULANTE (CAL) EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA CRUDO DE LA INDUSTRIA PANELERA ``EL VALLE``*, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

_____	_____
Dr. Amaury Pérez Martínez	M.Sc. Víctor Rodrigo Cerda Mejía

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación aprueba el proyecto de investigación titulado: ***"INFLUENCIA DEL AGENTE COAGULANTE (CAL) EN LA CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA CRUDO DE LA INDUSTRIA PANELERA ``EL VALLE ``.***

_____

M.Sc. Fernando Basantes

Presidente del Tribunal

_____ _____

M.Sc. Aida Romero — Miembro del Tribunal

M.Sc. Alberto Vélez — Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por su constante apoyo incondicional que demostraron durante los años de estudio.

A los directores del proyecto por su gran tiempo, compromiso y apoyo en el desarrollo del proyecto de investigación.

A los encargados del laboratorio ambiental y bromatología de la Universidad Estatal Amazónica por su capacidad de apertura.

A la Universidad Estatal Amazónica por la oportunidad objetiva en el proceso formativo personal y profesional.

También, a todas aquellas las personas directas e indirectas que fueron parte de este proceso de desarrollo investigativo.

RESUMEN

De acuerdo a las condiciones y parámetros operativos de la panelera El Valle se ha evaluado la influencia del agente coagulante en la clarificación del jugo crudo, considerando el valor inicial de pH 5, grados Brix 15, y turbidez 2191.05 NTU, con el uso de cal apagada en agua (lechada de cal) a concentraciones de 10 y 14°Bé, el efecto del encalado en frio en tiempo de agitación de 5 y 10 min a velocidades 25 y 100 rpm. Evitándose las pérdidas de sacarosa por la inversión al aumentar la temperatura, el pH se registra a partir de 5.5 a 5.9 y grados Brix de 17 a 19, la turbidez del jugo clarificado en un rango de 603 a 927 NTU con un color de 4460.71 a 9658.71 UI y altura de lodos de 0.3 a 0.7 cm. El análisis de varianza indica que existe una incidencia mayor por parte de los factores C-TA y BC sobre la turbidez y la altura de los lodos siendo diferente y significativos entre los factores de acuerdo al valor de probabilidad $\alpha = 0{,}0500$. En cuanto al color no hay evidencia de que los factores sean significativos de acuerdo al valor $\alpha = 0{,}0500$.

Palabras clave: agente coagulante, inversión, lechada de cal, turbidez

ABSTRACT

According to the conditions and operational parameters of the El Valle panelera, the influence of the coagulating agent on the clarification of raw juice has been evaluated, considering the initial value of pH 5, degrees brix 15, and turbidity 2191.05 NTU, with the use of slaked lime in water (lime grout) at concentrations of 10 and 14°Bé, the effect of cold liming in stirring time of 5 and 10 min at speeds of 25 and 100 rpm. Avoiding the loss of sucrose by inversion when the temperature increases, the pH is recorded from 5.5 to 5.9 and degrees brix from 17 to 19, the turbidity of the clarified juice in a range of 603 to 927 NTU with a color of 4460.71 to 9658.71 UI and sludges height of 0.3 to 0.7 cm. The analysis of variance indicates that there is a greater incidence by the factors C: TA and BC on the turbidity and height of the sludge being different and significant among the factors according to the value of probability $\alpha = 0.0500$. As for the colour there is no evidence that the factors are significant according to the value $\alpha = 0.0500$.

Keywords: coagulating agent, inversion, lime grout, turbidity.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I **1**
INTRODUCCIÓN **1**
1.1 JUSTIFICACIÓN 1
1.2 PROBLEMA 2
1.3 OBJETIVOS 2
1.3.1 Objetivo General *2*
1.3.2 Objetivos específicos *2*
CAPITULO II **3**
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA **3**
2.1 ANTECEDENTES 3
2.2 CAÑA DE AZÚCAR 3
2.2.1 Variedades *4*
2.3 JUGO DE CAÑA 4
2.3.1 Composición química de los componentes presentes en el jugo de caña. *5*
2.4 CLARIFICACIÓN 10
2.4.1 Factores que influyen en la clarificación *11*
2.4.2 Etapas de clarificación *12*
2.5 MÉTODOS ANALÍTICOS ICUMSA 13
2.5.1 Prueba de las jarras *13*
CAPITULO III **15**
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN **15**
3.1 LOCALIZACIÓN 15
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 15
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 15
3.3.1 Caracterización fisicoquímica del jugo de caña *15*
3.3.2 Preparación de la lechada de cal *17*
3.3.3 Descripción del proceso de alcalinización *18*
3.3.4 Caracterización del jugo clarificado *18*
3.4 DISEÑO DE EXPERIMENTO FACTORIAL 20
CAPITULO IV **21**
RESULTADOS Y DISCUSIÓN **21**
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA CRUDO 21
4.2 RESULTADOS DE LA CONDICIÓN OPERATIVA EN LA CLARIFICACIÓN 21
4.3 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO DEL JUGO CLARIFICADO 22
4.3.1 Turbidez *23*
4.3.2 Color *27*
4.3.3 Altura de lodos *31*
CAPITULO V **35**
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **35**
5.1 CONCLUSIONES 35
5.2 RECOMENDACIONES 35
CAPITULO VI **36**
CAPITULO VII **38**
ANEXOS **38**

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MOLÉCULA DE SACAROSA 5
FIGURA 2. ESTRUCTURA DESARROLLADA DE LA GLUCOSA Y FRUCTOSA 5
FIGURA 3. INVERSIÓN DE LA SACAROSA (CASTRO Y ZAPATA, 1992). 6
FIGURA 4. ANILLOS AROMÁTICOS DE CARÁCTER FENÓLICO. 9
FIGURA 5. ESQUEMA DE LAS ETAPAS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN. 13
FIGURA 6. DIAGRAMA DE PARETO: EFECTO DE FACTORES INDIVIDUALES. 23
FIGURA 7. JUGO CLARIFICADO DE CAÑA A CONCENTRACIONES DE 10 Y 14°BÉ. 24
FIGURA 8. MODELO CUADRÁTICO: PREDICCIÓN VS ACTUAL (TURBIDEZ). 25
FIGURA 9. TURBIDEZ: SUPERFICIE DE RESPUESTA Y GRAFICO DE CONTORNO (A, B Y C). 26
FIGURA 10. DIAGRAMA DE PARETO: EFECTO DE DOS FACTORES E INDIVIDUALES. 27
FIGURA 11. JUGO CLARIFICADO DE CAÑA A CONCENTRACIONES DE 10 Y 14 °BÉ. 28
FIGURA 12. MODELO CUADRÁTICO: PREDICCIÓN VS ACTUAL (COLOR). 29
FIGURA 13. COLOR: SUPERFICIE DE RESPUESTA Y GRAFICO DE CONTORNO (A, B Y C). ... 30
FIGURA 14. DIAGRAMA DE PARETO: EFECTO DE DOS FACTORES E INDIVIDUALES. 31
FIGURA 15. JUGO CLARIFICADO DE CAÑA A CONCENTRACIONES DE 10 Y 14 °BÉ. 32
FIGURA 16. MODELO CUADRÁTICO: PREDICCIÓN VS ACTUAL (AL). 33
FIGURA 17. AL: SUPERFICIE DE RESPUESTA Y GRAFICO DE CONTORNO (A, B Y C). 34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE JUGO DE CAÑA. 4
TABLA 2. COMPOSICIÓN DE MINERALES EN EL JUGO DILUIDO. 6
TABLA 3. ÁCIDOS ORGÁNICOS NO NITROGENADOS PRESENTES EN EL JUGO DE CAÑA. 7
TABLA 4. ÁCIDOS ORGÁNICOS NITROGENADOS PRESENTES EN EL JUGO DE CAÑA. 7
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DISPERSAS EN EL JUGO DE CAÑA. 10
TABLA 6. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL JUGO DE CAÑA. 15
TABLA 7. CANTIDAD DE CAL 17
TABLA 8. DISEÑO FACTORIAL DE 2^3 20
TABLA 9. RESULTADOS FISICOQUÍMICOS DEL JUGO DE CAÑA CRUDO. 21
TABLA 10. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL JUGO CLARIFICADO (PH, GRADOS BRIX, TEMPERATURA, TURBIDEZ, COLOR Y ALTURA DE LODOS) 22
TABLA 11. ANÁLISIS DE VARIANZA DE TURBIDEZ (SUMA PARCIAL DE CUADRADOS – TIPO III). 25
TABLA 12. ANÁLISIS DE VARIANZA DE COLOR (SUMA PARCIAL DE CUADRADOS – TIPO III). 29
TABLA 13. ANÁLISIS DE VARIANZA DE AL (SUMA PARCIAL DE CUADRADOS – TIPO III). 33

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En Ecuador el cultivo de caña es prácticamente 70.000 hectáreas, siendo alrededor de 6000 familias que se dedican a la elaboración artesanal de panela (Loyo Godoy, 2018). En la provincia de Pastaza la variedad de mayor superficie cultivada; limeña (POJ 93) es destinada a la elaboración de la panela en bloque o granulado, alcohol, jugo, miel y muchas veces consumido como fruta. Se conoce como principal rubro agrícola de 927,05 ha de cultivo (Valle Ramírez y col., 2015).

La caña como materia prima se constituye de agua, solidos solubles y fibra. En tanto, el jugo de caña se compone principalmente de sacarosa y otros azucares simples, dependiendo de la madurez de la caña es la concentración de los mismos en el jugo. Sin embargo, todo componente que contenga el tallo distinto a la sacarosa se denomina impurezas.

La cantidad de material extraño y compuestos no-azucares considerables en el proceso se debe a la cosecha verde (Hernández y Beltrán, 2014). La floculación o aglutinación permite la clarificación de jugo caña de las impurezas presentes, a efecto combinados de temperatura, tiempo y acción de los agentes clarificantes (mucilagos vegetales o polímeros)(Castro y Zapata, 1992). La falta de control de estos variables se deriva en una clarificación deficiente que genera coloraciones oscuras y presencia de impurezas en el producto final (Sanchez, Carrera, y Castillo, 2007). El método tradicional de clarificación de jugo es el más antiguo empleado a nivel mundial de hecho uno de los más eficientes, que involucra cal (oxido de calcio) y calor en el proceso simple de defecación (Marín, 2012).

El procedimiento de laboratorio conocido la prueba de jarras, donde se evalúa la influencia del agente clarificante, bajo una serie de mezcladores rotacionales tiene como objetivo conseguir la muestra adecuada y con la posibilidad de ajustar la gradiente de velocidad atribuible a nivel de cualquier planta de proceso para la coagulación y floculación rápida del material coloidal en la clarificación de jugo de caña.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La calidad de la panela se ve afectada por la presentación de su color que es una de las características principales de aceptación en el mercado por parte del consumidor, de esta manera, es importante corregir los factores que perjudica el color en la etapa de la clarificación. Se conoce la importancia que tiene el agente coagulante sobre el jugo de caña en la clarificación, evitando los efectos de inversión por actividad enzimática que suele

ocurrir después del corte, al no considerar incide en la calidad de jugo durante la etapa de clarificación en la perdida de azúcar y mayor presencia de impurezas.

1.2 PROBLEMA

¿Cómo se puede disminuir el contenido de impurezas del jugo de caña de la panelera “El Valle”?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la influencia que tiene el agente coagulante (Cal) en la clarificación, a escala de laboratorio del jugo de caña crudo proveniente de la Industria Panelera ¨El Valle.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del jugo de caña crudo de la Panelera ¨El Valle¨
2. Determinar las condiciones de operación en la etapa de clarificación.
3. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del jugo de caña clarificado obtenido.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 ANTECEDENTES

El presente trabajo está sustentado en base estudios realizados de contenidos investigativos de artículos y tesis relacionados sobre la importancia que tiene la clarificación del jugo caña.

- La caña tras un proceso largo de modificación después de la conquista de Colon a finales de 1493 ha hecho del cultivo caña que tenga protagonismo importante en el continente (Aguilar Rivera, 2010).
- En Ecuador alrededor de 6000 familias se dedican a la elaboración artesanal de panela (Loyo Godoy, 2018). En tanto en la provincia de Pastaza la variedad de mayor superficie cultivada Limeña POJ 93 con 927,05 ha en la elaboración artesanal de panela granulado y en bloque (Valle Ramírez y col., 2015).
- La clarificación de jugo el método tradicional ha sido uno de los más empleados con el uso de la cal (oxido de calcio) y mediante el calor como agentes clarificantes generando el proceso de defecación simple (Marín, 2012).
- La clarificación era antiguamente solo la aplicación de cal y calor, pero ha incurrido a muchas modificaciones principalmente el sector azucarero, donde la necesidad ha permitido mejorar los tratamientos de los jugos a la existencia de distintas variedades de caña de ahí la importancia de la clarificación que sea más eficiente.

2.2 CAÑA DE AZÚCAR

La caña azúcar (*Saccharum officinarum L.*) de la familia de las gramíneas se cultiva en climas tropicales y subtropicales. Su procedencia se debe al movimiento migratorio de Asia a África y Europa. Después con la conquista de Colón llega a finales 1493 a las islas del caribe y resto de América (Aguilar Rivera, 2010). El cultivo de caña en América se extiende desde mitad del XVI, tras un largo proceso aparecen como híbridos específicos de las especies *(Saccharum officinarum L, Saccharum Spontaneum* y *Saccharum Robusta).* Siendo un pasto tropical de tallos gruesos y fibrosos crece 2 a 5 metros con entrenudos alargados que contiene mayoría de sacarosa. La existencia de un nuevo retoño crece de las yemas de los nudos del tallo, permitiendo una sucesión igual (Avalos Ludeña y Ponte Ramírez, 2019). Se adapta desde el nivel del mar hasta inclusive alturas de 2000 msnm, y la temperatura media para el cultivo varía entre 22 a 30 °C.

2.2.1 Variedades

Las variedades de uso del sector panelero entre las más comunes se encuentran: Campus Brasil, CENICAÑA, Cubana, Morada, POJ negra, barniz y blanca (Quezada Moreno, 2012). Son las variedades que por sus características se han adaptado a las diferentes condiciones climáticas, de manejo, del tipo de suelo y otros factores.

En Pastaza se cultiva POJ 93 (Limeña), la variedad que se utiliza para la elaboración de panela granulada y bloque. Se establece el principal rubro agrícola de la provincia de Pastaza en disposición de 927,05 ha (Valle Ramírez y col., 2015).

2.3 JUGO DE CAÑA

El jugo de caña está compuesto por agua, azucares y no azucares (orgánicas e inorgánicas) que son solubles e insolubles en diversas proporciones después de la extracción. En los azucares el principal constituyente es la sacarosa, seguido de concentraciones menores, glucosa y fructosa. Los no azucares son sales ácidos orgánicos e inorgánicos, ácidos carboxílicos, aminoácidos, proteínas, almidón, gomas, cera, grasa, fosfatados y compuestos coloreados como flavonoides, polifenoles (B. Zossi, Cárdenas, Sorol, y Sastre, 2010), que están presentes en el jugo crudo de caña (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de jugo de caña.

Caña Triturada	Caña (%)
Agua:	73-76
Solidos:	24-27
Solidos solubles	10-16
Fibra(seca)	11-16
Componentes del Jugo	**Solidos Solubles (%)**
Azucares:	75-92
Sacarosa	70-88
Glucosa	2-4
Fructosa	2-4
Sales:	3,0-4,5
Ácidos inorgánicos	1,5-4,5
Ácidos orgánicos	1,0-3,0
Ácidos orgánicos:	1,5-5,5
Ácidos carboxílicos	1,1-3,0
Aminoácidos	0,5-2,5
Otros no azucares orgánicos:	
Proteína	0,5-0,6
Almidón	0,001-0,050
Gomas	0,3-0,60
Ceras, grasas, fosfatados	0,05-0,15
Otros	3,0 – 5,0

Fuente: (Honig, 2013)

2.3.1 Composición química de los componentes presentes en el jugo de caña.

Sacarosa

Disacárido formado por la condensación de dos azucares simples (glucosa y fructuosa) de fórmula molecular condensada $C_{12}H_{22}O_{11}$ y su peso molecular de 342,3 g/mol. La sacarosa se forma por dos monosacáridos, α-glucosa y β-fructosa; mediante enlace glucosídica 1:2 (Figura 1) entre los dos átomos de carbono carbonílicos. (Freire Reyes y Landázuri Ortiz, 2011).

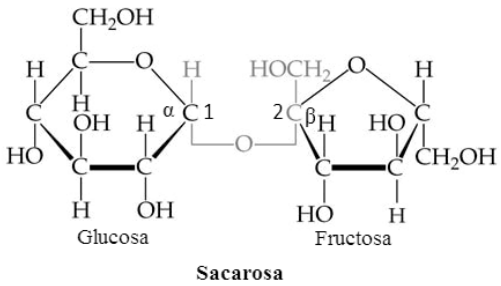

Figura 1. Molécula de Sacarosa

La disposición de ácidos diluidos o fermentos en el jugo crudo, puede hidrolizar la molécula de sacarosa en glucosa y fructosa (Goyes Terán, 2014). El disacárido se descompone en sus dos moléculas constituyentes. La sacarosa tiene una solubilidad considerable en agua y se cristaliza a 180° C con facilidad por efectos del calor con respecto a los otros azucares.

Glucosa (dextrosa) – Fructosa (Levulosa)

Son monosacáridos con la misma fórmula $C_6H_{12}O_6$ y peso molecular de 180.2 g/ mol, a diferencia de sus estructuras desarrolladas por la presencia del grupo aldehído y cetona. Sin embargo, la fructosa al igual que la glucosa se considera como un azúcar reductor (Figura 2).

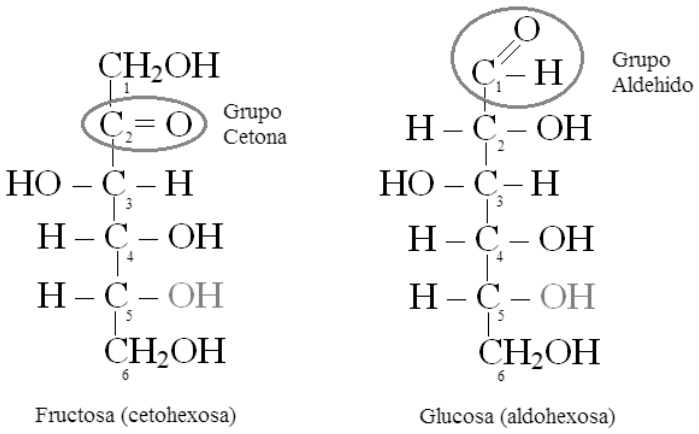

Figura 2. Estructura desarrollada de la glucosa y fructosa.

La glucosa es abundante en el desarrollo de la caña antes de la madurez. Es soluble en etanol y se funde a temperatura de 146°C.

En tanto, la fructosa es un azúcar de un efecto endulzante mayor que la sacarosa y glucosa. Es soluble en agua y poco soluble en etanol se funde 104°C.

Inversión de la sacarosa

La inversión se origina con el desdoblamiento de la molécula de sacarosa en sus dos moléculas constituyentes glucosa y fructosa (Azucares invertidos). Es un fenómeno que se da por efecto de la acción de ácidos, enzimas, y altas temperaturas, inicia desde la misma planta y continúa después del corte (Figura 3).

$$C_{12}H_{22}O_{11}+H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

Sacarosa	Glucosa	Fructuosa
$[\alpha]\ 20_D+ 66.53°$	$[\alpha]\ 20_D 52.7°$	$[\alpha]\ 20_D-92.4°$

Figura 3. Inversión de la Sacarosa (Castro y Zapata, 1992).

El resultado del cambio de movimiento óptica dextrógira a levógira o viceversa es la inversión de la sacarosa en el jugo de caña (Goyes Terán, 2014). El estudio de su significado se prioriza en términos de inversión en hidrolisis enzimática y acida para obtener azucares invertidos.

En la caña ocurre efecto de inversión por enzimas invertasas (actividad enzimática) desde momento de la cosechada por factores de temperatura, edad y variedad. El efecto de inversión ácida ocurre antes de la clarificación y durante el proceso en dependencia del calor y pH (Goyes Terán, 2014).

La inversión ácida se controla mediante la adicción de cal para mantener el pH a valor básico neutro o algo superior de 7.

Ácidos inorgánicos

La presencia de los minerales en la caña es común en dependencia del tipo de suelo, variedad y fertilización. El cultivo de caña con fósforo permite niveles mayores de jugo clarificado, siendo el fósforo decisivo para la clarificación, en concentraciones de 300 y 600 mg/L de P_2O_5 (García, Albarracín, Toscano LaTorre, Santana, y Insuasty, 2007).

El potasio es necesario en la planta para la absorción del carbono y síntesis de proteína. La reducción de sacarosa es por el déficit de potasio y también ocurre el aumento de los niveles de azucares reductores generando cantidades considerables de materiales coloreados a causa de cambio excesivo de temperatura (Giraldo, 2005).

Otros minerales Calcio, Magnesio y Sodio suelen persistir de pisos salinos de efecto melasigénico ya que influye en la pureza de mieles finales (Larrahondo, 1995) (Tabla 2).

Tabla 2. Composición de minerales en el jugo diluido.

Constituyente	Concentración (% grados Brix)

Cationes	Potasio (K_2O)	0,77-1,31
	Sodio(Na_2O)	0,01-0,04
	Calcio(CaO)	0,24-0,48
	Magnesio(MgO)	0,1-0,39
	Hierro(Fe_2O_3)	0,006-0,04
	Aluminio(Al_2O_3)	0,0005-0,17
	Cobre(CuO)	0,002-0,003
	Zinc(ZnO)	0,003-0,012
	Manganeso (MnO)	0,007
	Cobalto(CoO)	0,00007
	Silicio (SiO_2)	0,016-0,101
Aniones	Cloro(Cl)	0,16-0,27
	Fosfato(P_2O_5)	0,14-0,4
	Sulfato(SO3)	0,17-0,52

Fuente: (Marín, 2012).

Ácidos orgánicos

Ácidos orgánicos no nitrogenados:

En el jugo de caña los ácidos orgánicos no nitrogenados presentes de manera natural: Acotínico, Cítrico, Málico, Oxálico, Succínico entre otros, y durante el proceso la formación: Acético y Láctico. De todos estos el de mayor proporción es Acotínico tiene acción amortiguadora del pH que al acumularse regula el acidez del jugo. (Castro y Zapata, 1992) (Tabla 3).

Tabla 3. Ácidos orgánicos no nitrogenados presentes en el jugo de caña.

Ácido		Concentración (ppm/ % grados Brix)
Naturales	Oxálico	40-200
	Cítrico	900-1800
	Tartárico	10-180
	Málico	1200-1800
	Aconítico	5000-8000
	Succínico	100-200
	Glicolítico	Trazas-150
Formados durante el proceso	Láctico	250-670
	Acético	200-300

Fuente: (Escudero Jaramillo y Diestra Galarreta, 2016).

Ácidos orgánicos nitrogenados o aminoácidos:

Entre los principales aminoácidos considerados en el jugo de caña: Acido Aspártico, Glutámico, y Alanina.

Los aminoácidos son responsables del pH natural del jugo de caña con atribuciones de absorción de soluciones alcalinas (cal) por motivo de concentración del ácido aconítico (Tabla 4).

Tabla 4. Ácidos orgánicos nitrogenados presentes en el jugo de caña.

Compuesto	Libre	% Solidos Seco en Proteína

	Asparagina	0,71	---
	Glutamina	0,19	---
	Aspártico	0,11	0,06
	Glutámico	0,05	0,08
Aminoácidos	Alanina	0,06	0,05
	Valina	0,03	0,04
	Aminobutírico	0,03	0,03
	Treonina	0,02	0,04
	Isoleucina	0,01	0,03
	Glicina	<0,01	0,04
	Otros	Trazas	<0,03

Fuente: (Avalos Ludeña y Ponte Ramírez, 2019).

Proteína

Las proteínas son consideradas sustancias complejas de alto peso molecular y los aminoácidos suelen ser unidades a establecer la proteína. Las proteínas presentes en el jugo de caña son las siguientes: Albuminas, Nucleinas y Peptonas.

Las proteínas tiene características acidas y básicas (anfolitos), su reacción depende del pH y del medio en que se encuentre. Sin embargo con el calentamiento permite la estabilidad y posible destrucción. En tanto, a causa de la desnaturalización que padece la albumina, en pH cercano de 5,5 es evidente su precipitación (Marín, 2012).

Gomas

Están compuestas fundamentalmente por pentosas, polisacáridos que al hidrolizar producen azucares del grupo de la pentosa. La arabana, pantasanas y xilosa se caracteriza por absorber agua con facilidad (hidrófilas) incrementa la viscosidad en la meladura y no se eliminan totalmente con la clarificación de jugo (Escudero Jaramillo y Diestra Galarreta, 2016).

Lípidos

En el jugo crudo contiene apreciables cantidades de lípidos constituidos por las ceras, resinas y grasas en composición de distinto tamaño. Los lípidos persisten en forma de nata en la parte superior por las densidades bajas (Marín, 2012).

Compuestos coloreados

El jugo de caña presenta compuestos polifenólicos, como los flavonoides, considerados pigmentos naturales de la caña con estructuras $C_6C_3C_6$ (Figura 4), y dos anillos aromáticos propios de fenol A y B.(Marín, 2012).

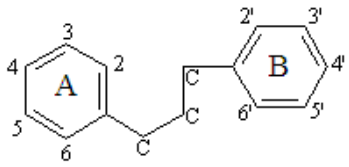

Figura 4. Anillos aromáticos de carácter fenólico.

El color se genera por reacciones durante el proceso en la clarificación a causa de interacciones de los compuestos coloreados de la caña. Siendo las reacciones más comunes entre los fenoles y sustancias nitrogenadas o directamente con el hierro (Marín, 2012).

Los flavonoides se encuentran en los tallos y se presentan durante la extracción. Existen 5 clases de flavonoides de las cuales de mayor incidencia son las siguientes dos: Antocianinas y Flavonas.

Las antocianinas tiene la característica de cambiar de color oscuro por los pigmentos catiónicos establecidos cuando el pH disminuye, pero se deshace con la clarificación a pH base alcalino generando glucósidos de compuesto coumarina (Larrahondo, 1995).

En tanto, la flavonas derivadas del apigenino, leuteolino y tricino, son colorantes ligeramente ácidos persisten a pH bajos en forma no ionizada (Avalos Ludeña y Ponte Ramírez, 2019). A diferencia de las antocianinas, las flavonas presentan menos 30% de color en el azúcar crudo en pH base alcalina durante la clarificación (Larrahondo, 1995).

De esta manera se conoce que los flavonoides en pH de 7 y 9 aumentan rápidamente el color de los cristales de sacarosa (Marín, 2012).

Durante el proceso la descomposición térmica de la sacarosa y de los azucares reductores generan los compuestos coloreados, o se presenta polímeros coloreados (melanoidinas) de la reacción de los carbohidratos con compuestos aminos (reacción de Maillard) (Larrahondo, 1995)

Impurezas

Los componentes presentes en el jugo crudo distintos a la sacarosa se designan como no azucares, catalogadas de impurezas solubles (orgánicas e inorgánicas) e insolubles (tierra, bagazo y bagacillo) que se encuentran presentes en el jugo de caña durante la clarificación y son eliminadas después de la formación de fases. De esta manera se comprende que las impurezas que están dividas en dos grupos:

- Material grueso disperso. Se presenta en dependencia de la calidad de la caña siendo el bagazo, tierra, cera, entre otras.
- Material coloidal. Se denomina a la presencia considerable de partículas coloidales en el jugo que genera una mayor turbiedad y color (Pérez y Cánepa de Vargas, 2006).

Los coloides son partículas finas e insolubles que transportan cargas negativas. De esta manera los coloides evitan la unión de las partículas en suspensión (impurezas) del jugo mezclado y por tanto su precipitación y posterior separación, es importante desestabilizar el sistema coloidal.

Los coloides son partículas pequeñas con cargas negativas de característica insoluble, debido a las cargas negativas evitan unión de las partículas en suspensión. Por lo tanto, es importante desestabilizar el sistema coloidal para la precipitación y fácil separación (Marín, 2012). De tal modo, la desestabilización del sistema coloidal reacciona con la adicción de la cal que absorbe y anula las fuerzas repulsivas de los coloides presentes en el jugo (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de las partículas dispersas en el jugo de caña.

Dispersiones	Diámetro (μm)	% masa	Especie
Áspero	D>0,1	2-5	Bagazo, arena, tierra.
Coloidales	0,001< D<0.1	0,005-0,3	Ceras, proteínas, gomas, dextranas, almidón.
Moleculares Y iónicos	D<0,001	8-21	Azucares (sacarosa glucosa, fructosa). Las sales minerales (sulfatos, cloruros, silicatos, fosfatos. K, Ca, Mg y Na). Ácidos orgánicos aconítico, oxálico, málico, etc.

Fuente: Delgado; Cesar (1977) citado por (Hamerski, 2009).

2.4 CLARIFICACIÓN

La clarificación de jugo de caña consiste en la eliminación de todos los sólidos en suspensión, compuestos colorantes, sustancias coloidales y de esta manera producir jugo claro. Es común la separación de impurezas mediante las operaciones de suspensión y precipitación. La clarificación se genera mediante coagulación y floculación de las impurezas presentes en el jugo. Se debe en parte a las condiciones operativas y el efecto combinado de la temperatura, tiempo y acción del tipo de clarificante (mucílagos vegetales o polímeros) (Castro y Zapata, 1992).

En la etapa de clarificación el jugo se somete bajo el efecto del calentamiento. La temperatura es necesaria que se eleve entre, 1.5 y 2.5°C por minuto sobre el jugo para que se genere la mayor aglutinación de impurezas por el efecto combinado de agente clarificante, temperatura y tiempo (García y col., 2007).

En la clarificación de jugo el método tradicional ha sido uno de los más empleados con el uso de la cal (oxido de calcio) y mediante el calor como agentes clarificantes generando el proceso de defecación simple. En tanto el calentamiento tiene efecto de acelerar la

formación de partículas de tamaño y densidades (coagulación) e incrementa la velocidad en la formación de cadenas que facilita la sedimentación y separación (floculación) (García y col., 2007).

2.4.1 Factores que influyen en la clarificación

Encalado

La clarificación era antiguamente solo la aplicación de cal y calor, pero ha incurrido a muchas modificaciones, la necesidad ha permitido mejorar los tratamientos de los jugos a la existencia de distintas variedades de caña y de ahí la importancia de la clarificación que sea más eficiente. Existen distintos tipos de alcalinización o defecación como método de clarificación de jugo de caña:

- Método cal y calor: es el método tradicional más antiguo conocido como alcalinización en frio que consiste la adición de cal en el jugo crudo antes del calentamiento.
- Método calor - cal (alcalinización en caliente): se conoce como alcalinización en caliente que consiste la adiciona cal a temperaturas de calentamiento donde señala que el método tiene mejores resultados en la clarificación del jugo, que permite mayor formación de flóculos en peso y tamaño (Marín, 2012)

Es común, el jugo crudo que se obtiene de la extracción ingresa a la etapa de la clarificación con un pH entre 5 a 5.5, y mediante el encalado se ajusta el pH con el objetivo de impedir la inversión o pérdida sacarosa. Con el efecto coagulante que tiene la cal ayuda la precipitación de las impurezas orgánicas e inorgánicas que trae consigo el jugo de caña. Mediante la adición de lechada de cal apagada en agua y a una concentración de 6 a 10 °Bé se neutraliza las cargas negativas de las partículas en el jugo (Goyes Terán, 2014).

En la clarificación el encalado se realiza bajo la lechada de cal de 100 a 150 gramos de cal por litro de agua o jugo crudo (sacarato de calcio) (García y col., 2007). La calidad de la cal para su fácil disolución, depende del diámetro de las partículas que debe ser realmente pequeñas. De esta manera, la acción de la cal y el calor forman un conjunto lo que se conoce como coagulación de las impurezas.

Estudios señalan que por el tipo de fuerzas (Van der Waals, London, movimiento Brownianos) el material en suspensión del jugo caña que transporta cargas electronegativas imposibilita la aglomeración y eliminación de impurezas (Marín, 2012).

Es cuando la adicción de cal neutraliza el jugo de caña, conocido como alcalinización o encalado, tiene la característica de Defecación, ya que las existencias de los iones de calcio

reaccionan sobre las impurezas del jugo, formando así solidos de precipitación y fácil separación.

La función de la coagulación es contrarrestar el efecto repulsivo entre partículas en suspensión con la misma carga mediante su neutralización, facilitando la colisión y formación de macromoléculas (coágulos), obteniendo como resultado la precipitación primaria de las impurezas. Para obtener resultados de precipitación y compactación de impurezas en el jugo se debe realizar la coagulación que contrarreste la repulsión entre partículas supeditadas de cargas negativas neutralizando así por el efecto de agente clarificante (cal) (Marín, 2012).

Calentamiento de jugo

El jugo después de la pre-limpieza es objeto de la clarificación a una temperatura de precalentamiento de 50 a 60 °C. En tanto, calentamiento del jugo es muy importante ya que acelera la formación de partículas en suspensión de tamaño y densidades mayores, facilitando su separación después de incrementar su velocidad de movimiento dando lugar a la formación de fases entre temperaturas de 75-80 °C. Sin embargo, el calor es un factor importante ya que incentiva la acción de aglomeración durante la clarificación siendo un agente coagulante de acción parcial (Marín, 2012).

2.4.2 Etapas de clarificación

El jugo de caña que se obtiene de la extracción es destinado a la clarificación, siendo un líquido verde opaco que contiene un sin número de partículas de distinto tamaño y composición (impurezas), provenientes desde antes de la recepción y en parte por la fuerza de presión de las masas en la caña, genera la presencia de fragmentos insolubles y solubles en el jugo de caña siendo objetivo de control en las etapas de clarificación.

Coagulación – floculación

La coagulación es un fenómeno que ocurre al adicionar el agente coagulante, donde las cargas electrostáticas de las partículas se anula en el momento que se da una comprensión de la capa difusa que rodea los coloides, y mediante puentes entre partículas perimite la aglomeración o formación de flóculos. (Gallardo, 2017).

La suspensión coloidal del jugo crudo cargadas negativamente se repelan entre sí, por lo tanto, las partículas suspendidas se sostienen separadas (Figura 5). Para desestabilizar el material coloidal de las cargas negativas se debe realizar la adicción de cargas positivas al jugo de caña con iones de calcio mediante el alcalinizado, esto permite la aglomeración de las partículas (Escudero Jaramillo y Diestra Galarreta, 2016).

Sedimentación

La sedimentación se da por la acción de las fuerzas de gravedad de las partículas pesadas. Mediante este proceso se elimina los materiales en suspensión en tiempos de retención adecuado. Los sólidos agrupados de la coagulación y floculación están entre arena, limo, cera, grasa, gomas y material colorante (Figura 5).

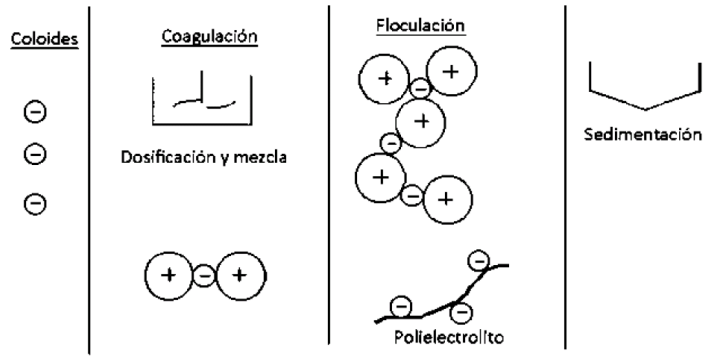

Figura 5. Esquema de las etapas de coagulación y floculación.

2.5 MÉTODOS ANALÍTICOS ICUMSA

La comisión internacional de métodos uniformes para análisis del azúcar ¨ICUMSA¨, es un organismo de normalización, que fue fundada en el año de 1897, de esta modo este organismo imparte los procedimientos de los paso para los análisis correspondientes del azúcar. Los métodos ICUMSA contienen instrucciones para la determinación mediante análisis respectivo color, refractometría, polarimetría y turbiedad entre otros en la caña de azúcar o azucares especiales(Goyes Terán, 2014).

2.5.1 Prueba de las jarras

Una prueba que permite la simulación de los procesos de efectos de coagulación y floculación en el jugo de caña crudo la separación de los coloides en suspensión y de la materia orgánica como factor problema de turbidez y color.

El método permite controlar el pH y su ajuste, mediante el encalado o lechada de cal. En la prueba de jarras la variación de la calidad del jugo claro dependería del uso de coagulantes y floculantes o tipo de polímeros en función a la velocidad y tiempo.

La agitación lenta no debe excederse de 15 minutos, corre el riesgo de destruir la formación de flóculos, se considera la agitación de 20 a 40 rpm en tiempos de 3 a 15 minutos (Samame Toro, 2019). La formación de flóculos se debe a la relación del tiempo de agitación con el número de colisiones entre las partículas suspendidas(Loyo Godoy, 2018).

La agitación rápida se considera tiempos de 1 a 3 minutos por velocidades de agitación de 30 o 100 rpm(Samame Toro, 2019). Es necesario tomar en cuenta la velocidad de agitación

rápida en tiempos cortos ya que influye en la ruptura de la estructura de los flóculos (Loyo Godoy, 2018). El mismo autor indica que la agitación debe ser constante y para la formación de flóculos de mayor tamaño se debe reducir la velocidad de agitación para una rápida sedimentación.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

Primera fase: Lugar de estudio y recolección de muestras se llevó a cabo en la provincia de Pastaza, parroquia Tarqui en la Industria Panelera ¨El Valle¨ ubicada en el km $5^1/_2$ de la vía Puyo-Madre Tierra.

Segunda fase: Estudios de réplica y comprobación en los laboratorios de análisis de la carrera de Ingeniería Agroindustrial y Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica en el km $2\ ^1/_2$ de la vía Puyo-Tena

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el campo de investigación se ultimó técnicas experimentales y bibliográficas en el proceso de elaboración de la panela principalmente en la etapa de clarificación con diferentes instrumentos que permitió la recolección de muestras y datos necesarios para el presente proyecto.

- Recolección de muestras de jugo de caña extraído de los molinos
- Análisis de la muestra del jugo previo al análisis de laboratorio

En los laboratorios de análisis se realiza la investigación en base al método de la prueba de jarras que consiste la simulación del proceso de clarificación en jugo de caña mediante la coagulación y floculación por la acción de la cal a nivel de laboratorio.

Con el método de jarras principalmente se busca remover la mayoría de partículas en suspenso del jugo de caña donde se haría la configuración necesaria para obtener los resultados en cuanto a la clarificación del jugo claro para luego el análisis respectivo en color y turbidez.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Caracterización fisicoquímica del jugo de caña

En el proceso se consideran los análisis fisicoquímicos de los siguientes parámetros de estudio como también sus métodos (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis fisicoquímico del jugo de caña.

Parámetros	Equipo/instrumento	Principio	Método
pH	pH-metro	Potenciómetría	AOAC 981,12
grados Brix	Refractómetro	Refractómetria	AOAC 932,14
Turbidez	Turbidímetro	Nefelometría	USEPA 180,1
Color	Espectrofotómetro	Espectrofotometría	ICUMSA GS 1-7

Fuente: Elaboración Propia

Determinación de pH

El pH del jugo crudo se determinó bajo el método de Potenciómetría AOAC 981,12(Association of official analytical, 1990). Se utilizó el pHmetro Apera (PHB-3) calibrado en disolución buffer 4, 7 y 10. Para lectura de la muestra se dio en 80 mL de jugo crudo en un vaso precipitado donde al cubrir el bulbo de cristal la estabilización de la lectura es el valor del pH requerido. Es necesario lavar la parte sumergida con agua destilada y sea verificado antes de cada muestra para precisar las mediciones correctas.

Determinación de los grados Brix

Los grados Brix del jugo crudo se determinó bajo el método de refractometría AOAC 932,14(Association of official analytical, 1990). Donde se utilizó el refractómetro (KKmoon ATC Handheld). Para la lectura de la muestra de jugo crudo se dio mediante una pequeña gota sobre el prisma y tensión del cubre objetos. Luego con la posición del refractómetro con la vista hacia la luz se mide ópticamente los grados Brix que es el porcentaje en peso de solidos solubles del jugo crudo. Es necesario después de cada muestra el refractómetro sea encerado con agua destilada y verificada la escala en cero de los grados Brix.

Determinación de turbidez

La turbidez del jugo crudo se determinó bajo el método de nefelometría USEPA 180,1 (O'Dell, 1996). Donde se utilizó el Turbidímetro portátil Hach-2100Q con los estándares requeridos de auto rango (0-1000 NTU). Antes, de lectura de la muestra de jugo crudo fue necesaria de una dilución a 100 ml con H_2O destilada y ajuste del pH a 7 con Na (OH) en base al peso calculado (1) y volumen respectivo.

Luego con 15 ml de jugo diluido por cada cubeta hasta el margen, se voltea varias veces y se coloca alineando el triángulo de margen con la marca de referencia del equipo. Entonces el Turbídimetro portátil calibrado en estándares de auto rango registra la lectura de la muestra en unidades nefelométricas de Turbidez (NTU).

Calcular la masa del jugo crudo con los grados Brix para la preparación de una disolución mediante la siguiente expresión (Anexo 1).

$$m = \frac{5{,}5(°\text{Brix}) * 100(g)}{c} \qquad \text{Ec. (1)}$$

dónde: m: masa del jugo crudo (g), c: grados Brix del jugo (°Brix).

Considerar la densidad para la determinación de la turbidez como para el color del jugo mediante la tabla de la densidad aparente (Anexo 2) o la siguiente ecuación válida para grados Brix menores a 10%.

$$MEe = (0{,}014236 * b^2 + 3{,}848468 * b + 997{,}159) \quad \text{Ec. (2)}$$

Calcular la turbidez real de la muestra inicial con la siguiente relación a partir de la lectura directa del Turbídimetro de una dilución preparada.

Volumen Total = muestra (ml)+H2O destilada Ec. (3)

$$\text{Factor dilución} = \frac{\text{Volumen Total}}{\text{muestra (ml)}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Turbidez real = valor de lectura (NTU) * Factor dilución Ec. (5)

3.3.2 Preparación de la lechada de cal

La preparación de la lechada de cal se realizó en relación al proceso de la producción en la panelera ¨El Valle¨ de una concentración de cal en agua de 10 °Bé es decir, 140 gramos de cal por litro de agua que se adiciona en la etapa de la clarificación del jugo. De esta manera, la cantidad de cal para su preparación se basa en un cálculo de relación simple; con las concentraciones en agua 10 y 14 °Bé para la adición en un litro de jugo (Tabla 7).

Jugo en A_1 al 0,1% y A_2 al 0,3% de 1000 ml:

Agua: $\frac{\text{A1 (\%)}*\text{Jugo crudo (ml)}}{100(\%)} = V_1\ (ml)$; $V_2\ (ml)$ (1)

A 10°Be: $\frac{\text{V1(ml)}*140\ (g)}{\text{Jugo crudo (ml)}} = C_1\ (g)$; $C_2\ (g)$ (2)

Jugo en B_1 al 0,1% y B_2 al 0,3% de 1000 ml:

Agua: $\frac{\text{B1 (\%)}*\text{Jugo crudo(ml)}}{100(\%)} = V_3\ (ml)$; $V_4\ (ml)$ (3)

A 14°Be: $\frac{\text{V3 (ml)}*180\ (g)}{\text{Jugo crudo (ml)}} = C_3\ (g)$; $C_4\ (g)$ (4)

Tabla 7. Cantidad de cal

V_1	V_2	V_3	V_4
1ml	3ml	1ml	3ml
C_1	C_2	C_3	C_4
0,14g	0,42g	0,18g	0,54g

Fuente: Elaboración Propia

Para una preparación ideal, la lechada de cal se debe considerar las distintas cantidades expresadas con las mismas concentraciones. Se empieza adicionando la cantidad de cal de grado alimentario en agua cruda de V_1, V_2 (ml) y seguido V_3, V_4 (ml) a temperatura ambiente para el respectivo apagado. Antes, del calentamiento y de la agitación de 5 o 10 minutos. Se realizó con una agitación que permitió mantener una mezcla homogénea y no

se aglomere en la parte baja del vaso de precipitado. Esto permitió una mayor reacción de la cal con los fosfatos presentes en el jugo de caña.

3.3.3 Descripción del proceso de alcalinización

Es de acuerdo a la cantidad de la solución preparada para un litro de jugo se realiza movimientos de agitación lenta y rápida en dos tiempos siendo objetivo del proceso del alcalinizado la neutralización de cargas de las partículas en suspensión del jugo de caña por efecto de las concentraciones del coagulante en cada una de las muestras experimentales para posterior coagulación, floculación y sedimentación.

Prueba de Jarras

Para determinar la influencia de la cal en el jugo de caña a nivel de laboratorio en concentraciones respectivas 10 y 14 °Bé se adiciona la cantidad de cal (C_1, C_2, C_3, C_4) apagada en agua (lechada de cal) de manera sucesiva en vasos de jugo crudo de 1000 ml debajo de cada una de las paletas de agitación utilizadas del equipo de Jarras (Phipps & Bird-PB900). La programación ocurre en 25 y 100 rpm en tiempo de agitación 5 y 10 minutos, se debe considerar un tiempo de una misma velocidad. Una vez que transcurra el tiempo a dichas velocidades de agitación permite la formación de flóculos se detiene el equipo y se coloca en el equipo de baño de maría (WNB7 C/TYG) a temperatura de 80°C. Dado el tiempo de reposo se visualiza en cada uno de los vasos la formación de fases donde es necesario registrar el pH del jugo claro, la altura de sobrenadantes y sedimentos (lodos).

3.3.4 Caracterización del jugo clarificado

Determinación de pH

El pH del jugo clarificado se determinó bajo el método de Potenciómetría AOAC 981,12(Association of official analytical, 1990). En el laboratorio se utilizó el pHmetro Thermo Scientific/OrionStar-A125 calibrado en disolución buffer 4,7 y 10. Para la lectura de la muestra se dio en 80 ml de jugo clarificado en un vaso precipitado donde al cubrir el electrodo la estabilización de la lectura es el valor del pH.

Es necesario lavar la parte sumergida con agua destilada y sea verificado antes de cada muestra para precisar las mediciones correctas.

Determinación de los grados Brix

Los grados Brix del jugo clarificado se determinó bajo el método de refractometría AOAC 932,14 (Association of official analytical, 1990). Se utilizó el refractómetro (KKmoon ATC Handheld). La lectura de la muestra de jugo clarificado se dio mediante una pequeña gota sobre el prisma y tensión del cubre objetos. Luego con la posición del refractómetro con la

vista hacia la luz se mide ópticamente los grados Brix que es el porcentaje en peso de solidos solubles de jugo clarificado.

Determinación de turbidez

La turbidez del jugo crudo se determinó bajo el método de nefelometría USEPA 180,1 (O'Dell, 1996). El equipo utilizado en cuantificar la turbidez de jugo clarificado es el Turbídimetro portátil Hach-2100Q que requiere 15 ml jugo clarificado por cubeta de muestra hasta el margen. Luego se voltea varía veces y se coloca en el equipo alineando el triángulo de margen de la cubeta con la marca de referencia del equipo. Entonces, el Turbídimetro portátil calibrado en estándares de auto rango registra la lectura de la muestra en unidades nefelométricas (NTU).

Determinación de color

En la determinación de color del jugo clarificado se considera el método ICUMSA GS 1-7 (Icumsa y Verlag Dr. Albert, 2019). Es necesario de una dilución a 100 ml con agua destilada en base a la cantidad de jugo clarificado (1) y ajuste del pH a 7 con Hidróxido de sodio 0,1 N si es mayor se debe considerar el ácido sulfúrico 0.1 N. De acuerdo con la solución filtrada al vacío en una membrana de poro 0.45 μm se registra la lectura de la absorbancia de cada corrida experimental a una longitud de onda ajustada 420 nm en el equipo espectrofotómetro Hach-DR6000 en una distancia entre celda 2,54 cm de acuerdo a la Norma NMX-526.

En tanto, la expresión de los grados Brix del jugo filtrado se mide en el refractómetro digital Kruss-DR301 para obtener la densidad aparente (2) y determinar el color del jugo clarificado mediante la correspondiente ecuación (3).

Calcular la masa del jugo clarificado con los grados Brix para la preparación de una disolución mediante la siguiente expresión (Anexo 1).

$$m = \frac{5{,}5(°\text{Brix}) * 100(g)}{c} \qquad \text{Ec. (1)}$$

dónde: m: masa del jugo clarificado (g), c: grados Brix (°Brix).

Considerar la densidad para la determinación del color de jugo clarificado mediante la tabla de la densidad aparente (Anexo 2) o la siguiente ecuación válida para grados Brix menores a 10%

$$\text{MEe} = (0{,}014236 * b^2 + 3{,}848468 * b + 997{,}159) \qquad \text{Ec. (2)}$$

Ecuación para determinación del color:

$$\text{Color ICUMSA} = \frac{As * 1000}{b * \rho * d} * 100 \qquad \text{Ec. (3)}$$

dónde: as: índice de absorbancia, As: absorbancia medida a 420 nm, b: Longitud del camino óptico entre las superficies límite de la solución (cm),ρ: densidad aparente de la solución del jugo clarificado, d: °Brix de la solución filtrada de jugo de caña.

Determinación de la altura de lodos

Los lodos generados de la clarificación contienen solidos del jugo compacto por efecto de la coagulación y floculación durante el calentamiento ascendente de la temperatura a en el equipo Memmert WNB. Donde el reposo permite medir la altura de sobrenadantes y sedimentos.

3.4 Diseño de experimento factorial

Es un método de diseño factorial de 2^3 es decir 8 experimentos con 2 repeticiones de cada uno, siendo un total de 16 experimentos. Para el presente estudio estadístico se evaluó utilizando el software DESIGN EXPERT, los factores de estudio de concentración, velocidad y tiempo de agitación dando a conocer variables respuestas en turbidez, color y altura de lodos del jugo clarificado (Tabla 8).

Tabla 8. Diseño factorial de 2^3.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3
Corridas	A:Concentración del coagulante (ºBé)	B:Velocidad de agitación (rpm)	C:Tiempo de agitación (min)	Turbidez (NTU)	Color (UI)	Altura de lodos (cm)
1	10	25	10			
2	10	100	10			
3	14	100	5			
4	10	100	5			
5	10	100	10			
6	14	25	5			
7	10	25	5			
8	14	25	5			
9	10	25	10			
10	14	100	10			
11	10	100	5			
12	14	100	5			
13	14	100	10			
14	10	25	5			
15	14	25	10			
16	14	25	10			

NTU (unidades nefelométricas de turbidez). UI (Unidades ICUMSA). Rpm (revoluciones por minuto). °Bé: (grados Baumé).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del jugo de caña crudo

El empleo de método fisicoquímico permite conocer las muestras de jugo crudo después de la extracción en condiciones naturales de un color verde, turbio y ligeramente ácido (Tabla 9). Se considera el efecto de inversión a tiempos prolongados más de 3 días, siendo precursora de coloraciones oscuras en el jugo de caña (Sanchez y col., 2007). En tanto, el pH del jugo de una planta madura de caña varía entre 4,7 – 5,6 pero el valor corriente oscila entre 5,2 y 5,4 (Hinostroza Castro y Toranzo Escudero, 2018).

Tabla 9. Resultados fisicoquímicos del jugo de caña crudo.

Jugo crudo			
pH	grados Brix	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
5,00	15,00	24	2191,05

NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). º C (grados Centígrados)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis inicial de la muestra de jugo el pH no tiene presunción de inversión enzimática dada regularmente por la edad, variedad, y temperatura. Sin embargo, la acción enzimática se elimina con la clarificación, pero con la inversión ácida no ocurre lo mismo, depende tanto del calor como del control de pH.

Los sólidos solubles que concierne a los azucares totales se considera entre 15 y 24° Brix (Castro y Zapata, 1992). El valor debajo del rango mínimo o del valor analizado estaría bajo la acción enzimática o acida, afectando notablemente el rendimiento de la caña en la obtención del producto.

La presencia considerable de sólidos en suspensión, compuestos colorantes y material coloidal resulta una turbidez de jugo crudo 2191,05 NTU siendo necesario de una dilución a 100 ml con agua destilada y ajuste del pH a 7 con Na (OH) en base al peso calculado 36.67 g. En tanto (Loyo Godoy, 2018), confirma que el jugo de caña virgen posee valores mayores a 2000 NTU, se considera de turbiedad alta, por la presencia de considerables material coloidal.

4.2 Resultados de la condición operativa en la clarificación

La condición de clarificación con respecto a cada corrida experimental obedece a la cantidad de cal (0,14g y 0,18g) apagada en agua a concentraciones 10 y 14°Bé en relación a la cantidad de jugo de un litro. El apropiado apagado de cal, produce un incremento en el área superficial y crea una distribución de partículas uniformes, dando como resultado

una lechada de cal de alta reactividad, menor consumo de cal (Hassibi y Singh, 2014). El alcalinizado por medio de iones de calcio estabiliza de cargas negativas de las partículas suspendidas (solubles e insolubles) a positivas en un determinado pH a la agitación 25 y 100 rpm en tiempos de 5 y 10 minutos. Donde, el calentamiento del jugo permitió acelerar las reacciones en el proceso de coagulación ocasionadas por el contacto entre la cal y componentes del jugo (Marín, 2012).

4.3 Caracterización fisicoquímico del jugo clarificado

La determinación de las variables de respuesta del jugo clarificado resulta del proceso de clarificación mediante la prueba de jarras y calentamiento de jugo (Tabla 10).

Tabla 10. Caracterización fisicoquímica del jugo clarificado (pH, grados Brix, temperatura, turbidez, color y altura de lodos)

Corrida	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Jugo clarificado			Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3
	A: CC (°Bé)	B: VA (rpm)	C: TA (min)	pH	°Brix	°C	Turbidez (NTU)	Color (U.I)	A. Lodos (cm)
1	10	25	10	5,9	19	21,5	603	5713,15	0,6
2	10	100	10	5,7	18	21,5	667	8635,93	0,5
3	14	100	5	5,8	18	21,1	733	6759,11	0,7
4	10	100	5	5,7	17	21,1	786	6426,31	0,7
5	10	100	10	5,6	18	21,2	925	7341,07	0,3
6	14	25	5	5,7	17	21,2	847	8683,11	0,5
7	10	25	5	5,8	18	21,2	723	8082,89	0,5
8	14	25	5	5,6	19	22,0	875	7306,61	0,3
9	10	25	10	5,7	18	22,0	632	7163,43	0,7
10	14	100	10	5,8	19	21,4	661	6788,32	0,5
11	10	100	5	5,6	17	21,4	875	7418,22	0,4
12	14	100	5	5,6	17	21,2	868	9658,71	0,4
13	14	100	10	5,7	18	21,2	777	8970,45	0,4
14	10	25	5	5,5	17	22,0	927	4497,10	0,3
15	14	25	10	5,9	19	22,1	693	4460,71	0,7
16	14	25	10	5,8	17	22,0	789	4546,96	0,6

NTU (unidades nefelométricas de turbidez). UI (Unidades ICUMSA). Rpm (revoluciones por minuto). °Bé: (grados Baumé).

Fuente: Elaboración propia.

El pH del jugo clarificado da como resultado valores de 5,5 a 5,9 no se conoce valores inferiores al pH inicial. Si fuera el caso, sería la causa de la inversión por el comportamiento inadecuado de los factores. En tanto, los grados Brix indican un incremento por la concentración del jugo después de calentamiento a 80 °C durante 30 minutos entre 17 a 19 °Brix. El calentamiento del jugo tiene el propósito de facilitar los procesos posteriores acelerando las reacciones químicas, mejorando la coagulación, y la sedimentación de los coloides (Dionisi, Aoki, y Calabrese, 2008).

4.3.1 Turbidez

En la representación (Figura 8), el tiempo de agitación (C-TA) resulta ser de incidencia significativa en la clarificación del jugo para un nivel de turbidez baja a diferencia de los demás factores, sobrepasando el límite estadístico del valor t=2,17, siendo factor de efecto negativo (-55.81) sobre la turbidez del jugo.

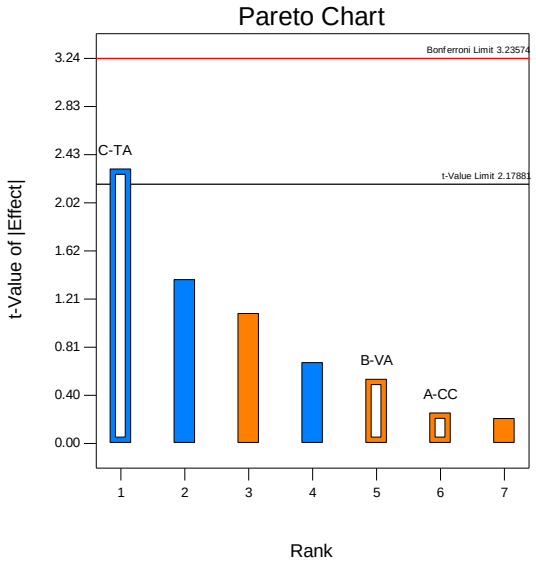

Figura 6. Diagrama de Pareto: Efecto de factores individuales.
Fuente: Elaboración propia.

La variable turbidez presenta valores en intervalo de 603 a 927 NTU, se obtiene una turbidez mayor de 500 NTU por el efecto de temperaturas de calentamiento ≤ 80 °C (Loyo Godoy, 2018).

Se conoce que la turbidez es causada por el material insoluble en suspensión o dispersión coloidal las cuales bloquean el paso de la luz. Sucede que las muestras de jugo clarificado 5 (925 NTU), 8 (875 NTU) y 14 (927 NTU) presentan material insoluble en suspensión dada a la incidencia del tiempo de agitación sobre el jugo encalado. El dicho material generalmente son partículas que no pudieron ser atrapadas por el tratamiento químico o quizás por la combinación de múltiples factores provocando una turbidez mayor de acuerdo al pH del jugo. (Rivas Obregón, 2012).

En tanto las muestras, 1 (603 NTU) y 9 (632 NTU) a mayor tiempo de agitación presentan una turbidez baja del jugo clarificado. Donde la muestra 1 es la más representativa de acuerdo a las condiciones operativas realizadas (Figura 7).

El tiempo de agitación en algunas muestras experimentales de acuerdo a la concentración influye de una manera correcta en la coagulación-floculación del material suspenso (impurezas). El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del

coagulante. En este caso la cal tiene una reactividad mayor en tiempo de agitación de 10 minutos y en tiempo de agitación de 5 minutos es distinto siendo incidente en la turbidez del jugo (Figura 7).

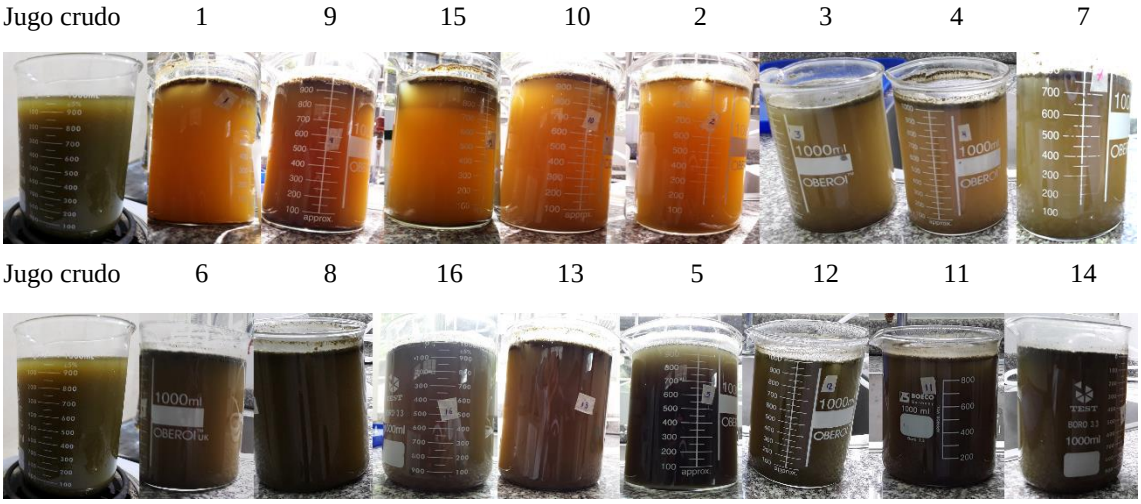

Figura 7. Jugo clarificado de caña a concentraciones de 10 y 14°Bé.
Fuente: Elaboración Propia.

Según, Loyo Godoy (2018) señala que se puede obtener mejores tratamientos de turbidez inferiores a 500 NTU por efecto de temperaturas mayores de 90 y 100 °C; siendo el caso contrario de 80 °C que se obtiene lectura de turbidez superiores a 500 NTU. Existen datos donde la turbidez del jugo reduce más en cuanto al tipo de tratamiento, en este caso el método tradicional de defecación mediante la cal ocurre que tiene turbidez mucho más altos que los tratamientos con polímeros o mucílagos vegetales.

Es de mucha importancia evaluar la remoción de las impurezas formadas en su mayoría por cantidades de compuestos solubles e insolubles y material grueso, ya que permite verificar la eficiencia del proceso de clarificación.

Cuando se aplica polímeros floculantes para una clarificación optima se requiere, el % de remoción en rangos 80-90% (Escudero Jaramillo y Diestra Galarreta, 2016). En tanto, en el estudio realizado la remoción promedio en relación al jugo crudo es del 64.7% con la aplicación de lechada de cal. Es necesario de mayor presencia de fosfatos, ya que permite una mayor remoción de compuestos coloreados del jugo (Rivas Obregón, 2012). La clave para la clarificación se debe al contenido fosfatos de 300 y 600 ml/l P_2O_5 (Alfaro Herrera, García Cárcamo, y Renderos Arrué). Los fosfatos P_2O_5 del jugo reaccionan con los iones de calcio que se adiciona con el encalado formando fosfatos de calcio permitiendo así la eliminación mayoría del material suspendido (Marín, 2012).

El efecto de los factores individuales; A-CC, B-VA tienen una influencia positiva que no son significativos, mientras que C-TA tiene una incidencia negativa sobre la turbidez del

jugo al sobrepasar límite de significancia. Donde el análisis de varianza de turbidez indica que el valor del modelo no es significativo Fcal 1,89 < a Ftab 4,06. Existe un 18,48% de posibilidad de que produzca un valor Fcal > Ftab y valor de probabilidad menor α: 0,05. En cuanto, el efecto del factor individual C-TA es significativo, el valor de Fcal 5,320 > a Ftab 5,318 de probabilidad 0,0397 < α: 0,05. Existe mayor turbidez por el efecto incidente del tiempo de agitación sobre el efecto clarificante a la poca reactividad de la cal en la coagulación y floculación (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza de Turbidez (Suma parcial de Cuadrados – Tipo III).

Fuente	SC	GL	CM	Valor F	Valor p	
Modelo	53183,19	3	17727,73	1,89	0,1848	No significativo
A-CC	612,56	1	612,56	0,065	0,8025	
B- VA	2730,06	1	2730,06	0,29	0,5992	
C- TA	49840,56	1	49840,56	5,32	0,0397	Significativo
Residual	$1,124x10^5$	12	9369,77			
Falta de ajuste	33671,75	4	8417,94	0,85	0,5293	No significativo
Error	78765,50	8	9845,69			
Total	$1,656x10^5$	15				

Fuente: Elaboración Propia.

El coeficiente de variación tiene una distribución del conjunto de datos de las corridas experimentales 12,42% y considera un promedio de 773,81 NTU. En el modelo la dispersión de datos experimentales en cuanto a la turbidez del jugo clarificado con respecto a la diagonal no sobresale la cantidad de datos sobre la diagonal que indique el óptimo, entonces se puede diferenciar que existe una desviación mayor respecto a su media. Siendo valores de cierta capacidad predictiva con la media general debido, al valor de Pred. R^2 es negativa con respecto a los valores bajos de R^2 y Adj-R^2 (Figura 8).

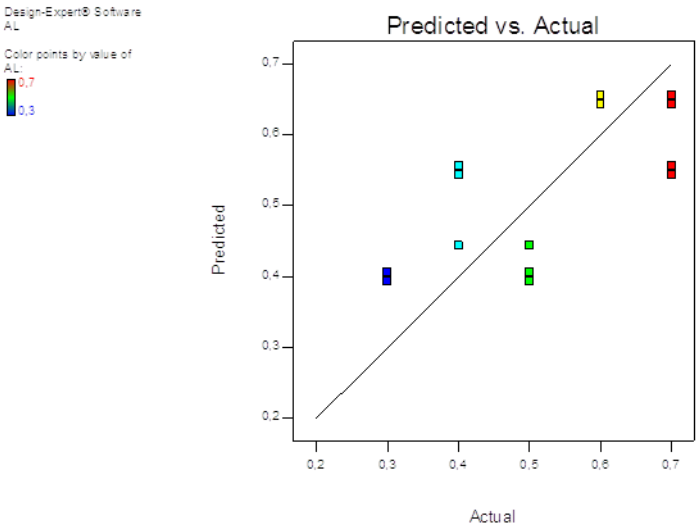

Figura 8. Modelo cuadrático: Predicción vs actual (Turbidez).
Fuente: Elaboración Propia

En la superficie de respuesta y el gráfico de contorno, la velocidad de agitación con respecto al tiempo en una concentración de coagulante 12 °Bé, se observa la turbidez del jugo en intervalo de 700 a 800 NTU. Donde, en < B: VA a >C: TA resulta < Turbidez del jugo. En caso de una Turbidez mayor por efecto inverso de los niveles de los factores (Figura 9A).

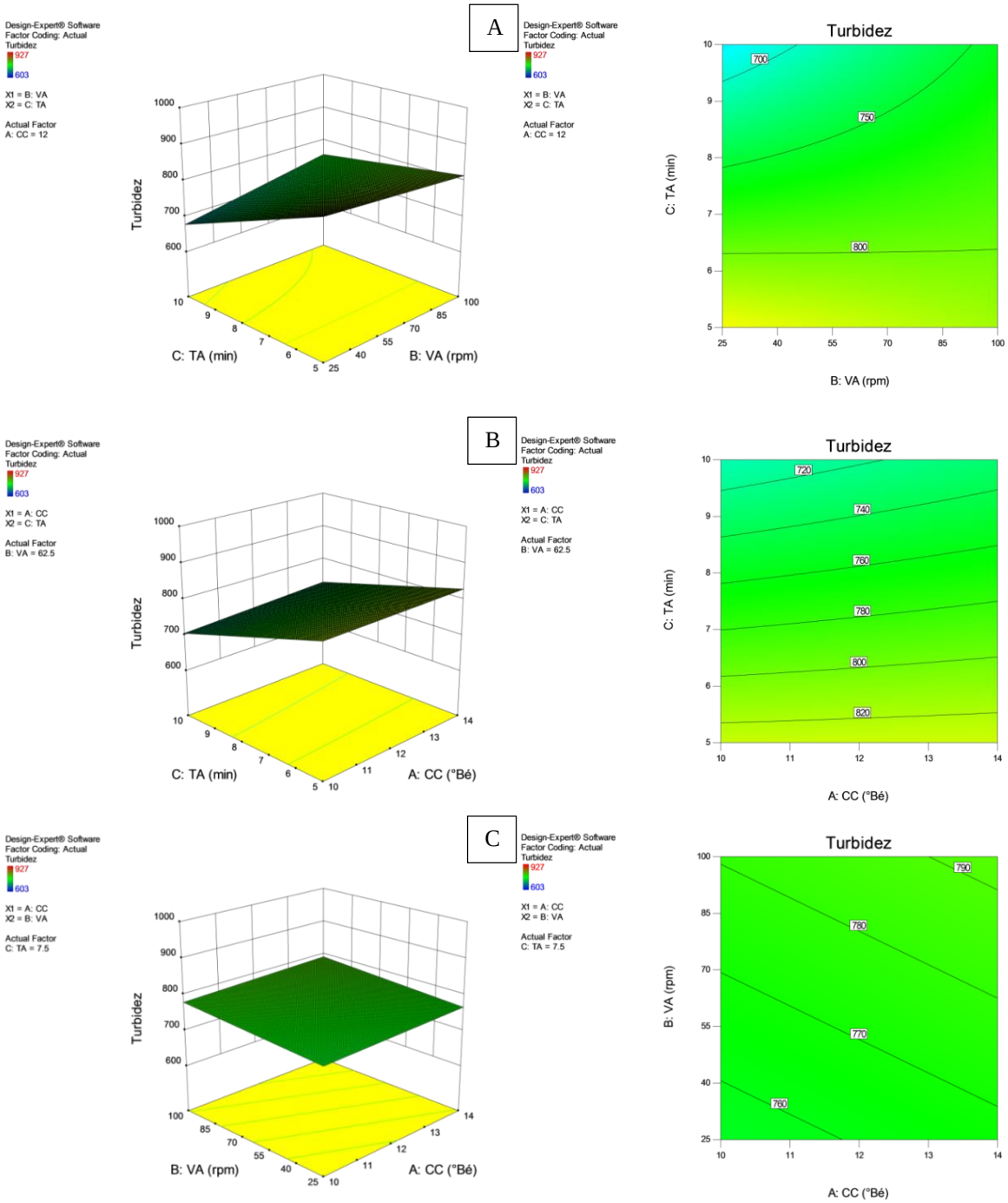

Figura 9. Turbidez: Superficie de respuesta y grafico de contorno (A, B y C).

Fuente: Elaboración Propia.

La concentración de coagulante con respecto al tiempo de agitación en una velocidad de agitación 62,5 rpm, se observa la turbidez del jugo en intervalo de 720 a 820 NTU. Donde,

a distinto nivel de A: CC a > C: TA se obtiene < Turbidez de jugo. El valor de turbidez menor o mayor, ocurre en dependencia del factor C: TA (Figura 9B).

En tanto, la concentración de coagulante con respecto a la velocidad de agitación en un tiempo de 7,5 minutos, se observa la turbidez del jugo en intervalo de 760 a 790 NTU. Es proporcional los niveles de los factores, en <A: CC a < B: VA se obtiene < Turbidez del jugo. Ocurre mayor Turbidez por efecto inverso de los niveles de los factores (Figura 9C).

4.3.2 Color

En la representación (Figura 10), resulta que no ninguno de los factores sobrepasa el límite estadístico del valor t= 2.26 para que se considere significativo. El único factor próximo al límite, es el efecto de la velocidad de agitación (B-VA) siendo este no significativo, con una influencia positiva (+721.51) con respecto a los demás factores sobre el color de jugo.

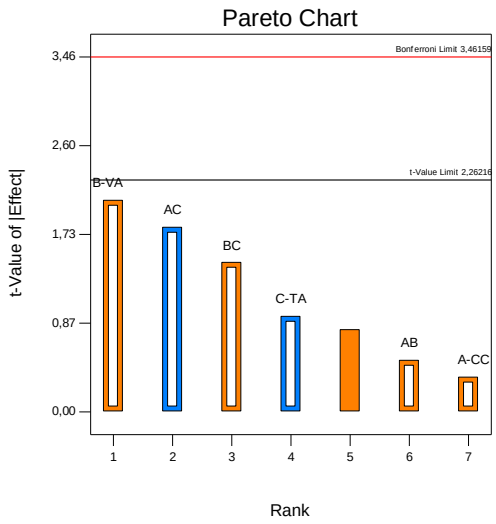

Figura 10. Diagrama de Pareto: Efecto de dos factores e individuales.
Fuente: Elaboración Propia.

El color del jugo clarificado en el rango de 4460,71 a 9658,71 UI es aceptable. De acuerdo a los datos reportados del jugo clarificado a distintos tratamientos; encalado en frio 7455 UI (Eggleston, 2000) y sulfitación 5000 a 6800 UI (B. Zossi y col., 2010). Donde las muestras 1(5713,15 UI), 15(4460,71 UI) y 4(6426,31 UI), presenta niveles más bajos de color. De acuerdo a los datos el valor 4460,71 UI de la muestra 15 es la mejor respuesta en cuanto al color de jugo clarificado (Figura 11).

En tanto, 6 (8683,11 UI), 12(9658,71 UI) y 13(8970,45 UI) resulta muestra de mayor color debido a efectos de los factores sobre la compontes del jugo. Según (Rivas Obregón, 2012) el color en el jugo se debe a los óxidos de hierro y magnesio coloidal o de la descomposición

orgánica (hojas, raíces, etc), siendo la reacción de coloraciones oscuras en mayor parte a los taninos, ceras y gomas a altas temperaturas (Figura 11).

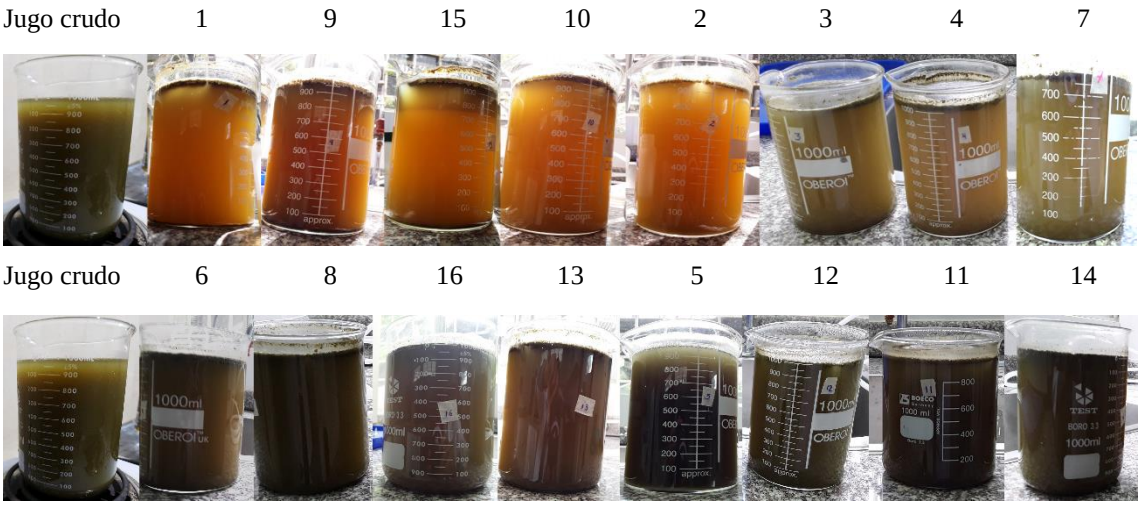

Figura 11. Jugo clarificado de caña a concentraciones de 10 y 14 °Bé.
Fuente: Elaboración Propia.

Es conveniente una agitación moderada en la desestabilización material coloidal y evitar el colapso de la cadena de floculación después del calentamiento, ya que no es incidencia de la velocidad agitación en la formación de fases sino el tiempo y la concentración de coagulante. Sin embargo (Loyo Godoy, 2018), señala que la velocidad de agitación y tiempo es objetivo de variación de acuerdo a la composición fisicoquímica del líquido. También los compuestos fenólicos reaccionan con la proteína y aminoácidos generando jugos cargadas de pigmentación oscura esto se debe a las reacciones no enzimáticas de oxidación y auto polimerización (B. S. Zossi, Cárdenas, Sorol, y Sastre, 2012). Según, (Rein, 2012) señala que el incremento de color en el jugo en algunas muestras se debe a los aminoácidos en valores de pH altos que reaccionan sobre los azucares reductores.

Los siguientes métodos con respecto al promedio 7028,26 UI. El color del jugo clarificado en el encalado caliente 6731 UI es más bajo que el encalado en frio 7455 UI (Eggleston, 2000). En tanto, los jugos clarificado mediante sulfitación en caliente con colores comprendidos entre 5000 y 6800 UI (B. Zossi y col., 2010) y mediante adicción de floculante Lipesa 1538; 9997,83 UI (Escudero Jaramillo y Diestra Galarreta, 2016).

El efecto de dos factores e individuales; AC y C-TA tienen una incidencia negativa no significativas, mientras A-CC, B-VA, AB y BC tienen una influencia positiva sobre el color, pero no sobrepasa el límite de significancia. Donde el análisis de varianza del color indica que valor del modelo no es significativo Fcal 1,81 < a Ftab 3,58. Existe un 20,33% de posibilidad de que produzca un valor Fcal > Ftab y valor de probabilidad < α: 0,05. En

este caso no existen términos de factores significativos sobre el color del jugo de tal modo los factores no son diferentes (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de varianza de Color (Suma parcial de Cuadrados – Tipo III).

Fuente	SC	GL	CM	Valor F	Valor p	
Modelo	$2{,}125x10^{7}$	6	$3{,}541x10^{6}$	1,81	0,2033	No significativo
A-CC	$2{,}246x10^{5}$	1	$2{,}246x10^{5}$	0,11	0,7425	
B- VA	$8{,}329x10^{6}$	1	$8{,}329x10^{6}$	4,26	0,0691	
C- TA	$1{,}698x10^{6}$	1	$1{,}698x10^{6}$	0,87	0,3758	
AB	$4{,}950x10^{5}$	1	$4{,}950x10^{5}$	0,25	0,6270	
AC	$6{,}338x10^{6}$	1	$6{,}338x10^{6}$	3,24	0,1054	
BC	$4{,}160x10^{6}$	1	$4{,}160x10^{6}$	2,13	0,1787	
Residual	$1{,}761x10^{7}$	9	$1{,}956x10^{6}$			
Falta de ajuste	$1{,}258x10^{6}$	1	$1{,}258x10^{6}$	0,62	0,4552	No significativo
Error	$1{,}635x10^{7}$	8	$2{,}043x10^{6}$			
Total	$3{,}885x10^{7}$	15				

Fuente: Elaboración Propia

El coeficiente de varianza tiene una distribución del conjunto de datos de las corridas experimentales 19,9%, y de un promedio de color 7028,26 IU. Indica que la dispersión de datos experimentales en cuanto al color del jugo sobre la diagonal no corresponde como óptimo por su desviación mayor con respecto a su media. Los valores de cierta capacidad predictiva con la media general. Se debe los valores bajos de R^2 y Adj-R^2 con respecto al valor negativo de Pred. R^2 (Figura 12).

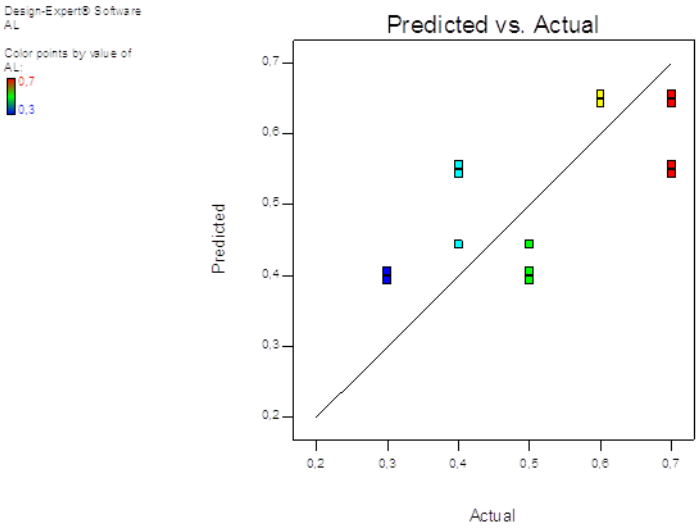

Figura 12. Modelo cuadrático: Predicción vs actual (Color).
Fuente: Elaboración Propia.

En la superficie de respuesta y grafico de contorno. La velocidad de agitación con respecto al tiempo en una concentración de coagulante 12 °Bé, se observa el color del jugo clarificado en intervalo de 6000 a 7500 UI. Donde, en < B: VA a >C: TA resulta < Color

de jugo. Caso contrario cualquier nivel de B: VA en < C: TA ocurría > Color de jugo (Figura 13A).

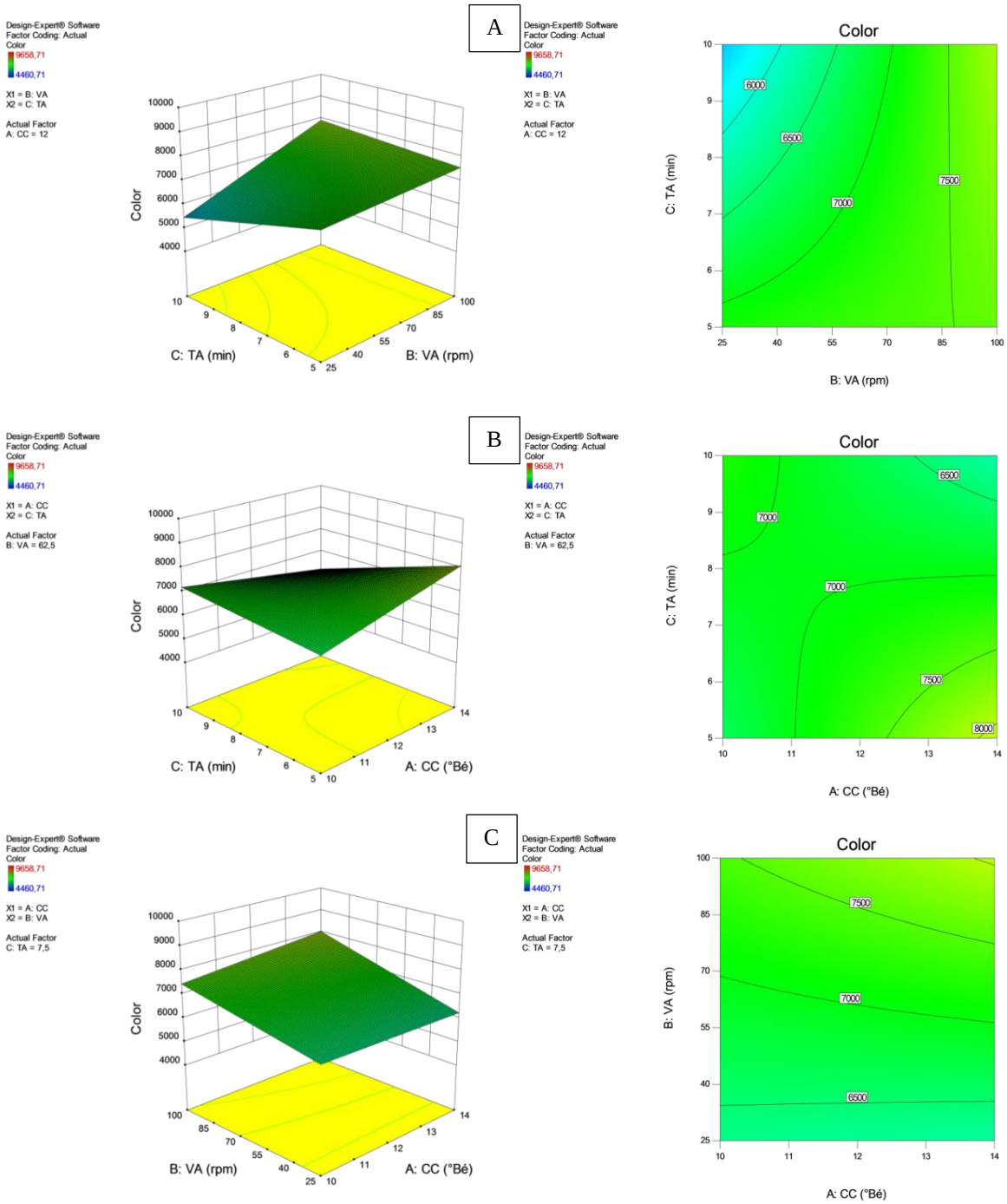

Figura 13. Color: Superficie de respuesta y grafico de contorno (A, B y C).
Fuente: Elaboración Propia.

La concentración de coagulante con respecto al tiempo de agitación en una velocidad de agitación 62,5 rpm, se observa el color jugo en intervalo de 6500 a 8000 UI. Es proporcional los niveles de los factores, en > A: CC a > C: TA se obtiene < Color de jugo. En efecto inverso de los factores ocurre > Color de jugo (Figura 13B).

En tanto, la concentración de coagulante con respecto a la velocidad de agitación en un tiempo de 7,5 minutos, se expone el color de jugo clarificado en un intervalo de 6500 a 7500 UI. Donde, a distinto nivel de A: CC en < B: VA se obtiene < Color de jugo. Es en dependencia del nivel del factor B: VA (Figura 13C).

4.3.3 Altura de lodos

El efecto de la interacción de dos factores BC sobrepasa el límite del valor t= 2.26 considerándose efecto significativo de incidencia negativa (-0.094) sobre la formación de la altura de lodos en cuanto a los demás factores no se consideran significativos (Figura 14).

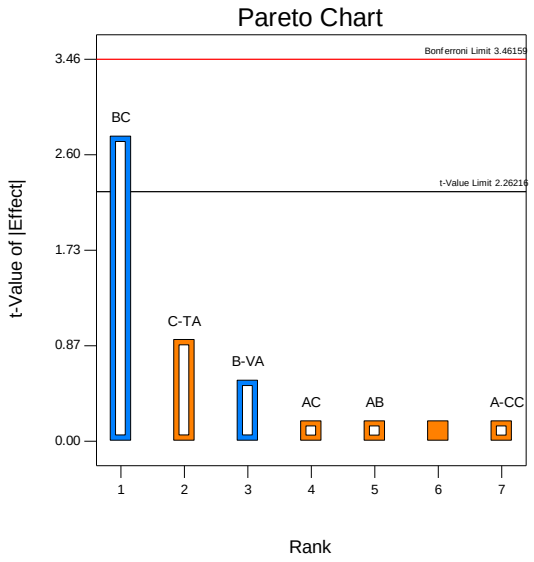

Figura 14. Diagrama de Pareto: Efecto de dos factores e individuales.
Fuente: Elaboración Propia.

La altura de lodos en intervalo de 0,3 cm a 0,7 cm. En la muestra 3, 4, 9 y 15 (0,7 cm), ocurre la desestabilización del material coloidal por medio del agente coagulante y calentamiento gradual en la formación de lodos, que conviene que se produzca de manera rápida para medir la altura de lodos y que el tiempo de permanencia sea menor por la inversión en el jugo clarificado.

En tanto, 5(0,3 cm), 8(0,3 cm) y 14 (0,3 cm) se observa un colapso de las partículas coloidales en la formación de la altura de lodos por la incidencia de tiempo y velocidad de agitación.

Ocurre que el pH, la velocidad de agitación y el tiempo inciden sobre la calidad del jugo de caña en la proceso de clarificación (Leitón Rosero y Ramíres Calderón, 2011). Es necesario considerar la sedimentación ya que permite conocer el mejor comportamiento del

clarificante acortando tiempos de resistencia durante la clarificación evitando así la perdida de la sacarosa (Zepeda Guardado, 2012) (Figura 15).

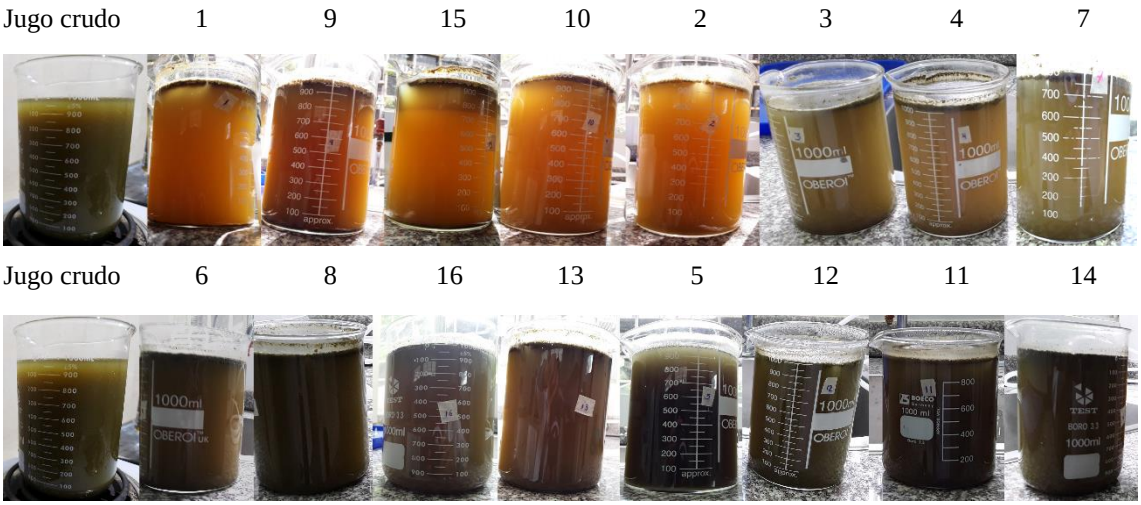

Figura 15. Jugo clarificado de caña a concentraciones de 10 y 14 °Bé.
Fuente: Elaboración Propia.

En la clarificación es usual que ocurra la disminución del pH, se justifica a la reacción que existe de la cal con los fosfatos básicos de calcio; es de consideración por que los fosfatos cálcicos no son solubles y se precipitan en los lodos, dejando propenso al jugo claro a la acción de acidez (Batule, 2004). Según (Marín, 2012) los fosfatos de calcio que resulta del encalado no es un compuesto químico definido sino una masa amorfa de composición variada (lodos).

Para una clarificación aceptable y una mayor remoción de solidos requiere que nivel de fosfato sea 200 mg/kg como mínimo en el jugo (B. S. Zossi y col., 2012). Sin embargo, en Pastaza se caracteriza suelos en deficiencia de fosfato (Valle Ramírez y col., 2015) que incide de manera directa en la clarificación de jugo de caña.

El efecto de dos factores e individuales; B-VA tiene una incidencia negativa sobre la formación de lodos al sobrepasar límite de significancia mientras los demás factores no son significativos. Donde el análisis de varianza de AL indica que el valor del modelo no es significativo Fcal 1,48 < a Ftab 3,581. Existe un 28,54% de posibilidad de que produzca un valor Fcal > Ftab y el valor de probabilidad menor α: 0,05. En cuanto, la interacción de dos factores BC el valor Fcal 7,64 > a Ftab 5,318 de probabilidad 0,022< α: 0,050 siendo significativo sobre la altura de lodos por el efecto incidente de la velocidad y tiempo de agitación (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de varianza de AL (Suma parcial de cuadrados – Tipo III).

Fuente	SC	GL	CM	Valor F	Valor p	
Modelo	0,16	6	0,027	1,48	0,2854	No significativo
A-CC	$6{,}250x10^{4}$	1	$6{,}250x10^{4}$	0,034	0,8579	
B- VA	$5{,}625x10^{3}$	1	$5{,}625x10^{3}$	0,31	0,5938	
C- TA	0,016	1	0,016	0,85	0,3809	
AB	$6{,}250x10^{4}$	1	$6{,}250x10^{4}$	0,034	0,8579	
AC	$6{,}250x10^{4}$	1	$6{,}250x10^{4}$	0,034	0,8579	
BC	0,14	1	0,14	7,64	0,0220	Significativo
Residual	0,17	9	0,018			
Falta de ajuste	$6{,}250x10^{4}$	1	$6{,}250x10^{4}$	0,030	0,8661	No significativo
Error	0,16	8	0,021			
Total	0,33	15				

Fuente: Elaboración Propia.

El coeficiente de varianza tiene una distribución del conjunto de datos de las corridas experimentales 26,80% y considerando un promedio de altura de lodos 0,51 cm. Señala que la dispersión de datos experimentales en cuanto a la altura de lodos con respecto a la diagonal no es el adecuado, es decir, que la mayoría de los datos alejados a la diagonal no posibilitan el óptimo del modelo, de tal manera, que la desviación entre los datos es mayor (Figura 16). Se debe a los valores bajos de R^2 y Adj-R^2 con respecto al valor negativo de Pred. R^2.

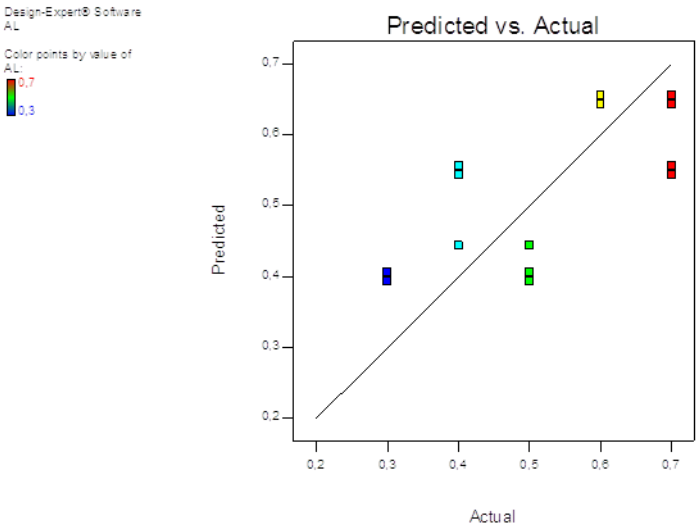

Figura 16. Modelo cuadrático: Predicción vs actual (AL).
Fuente: Elaboración Propia.

La superficie de respuesta y gráfico de contorno. La velocidad de agitación con respecto al tiempo en una concentración de coagulante de 12 °Bé (Figura 27), se observa que la altura de lodos en intervalo de 0,45 a 0,6 cm. Dónde, en <B: VA a >C: TA resulta >AL (Figura 17A).

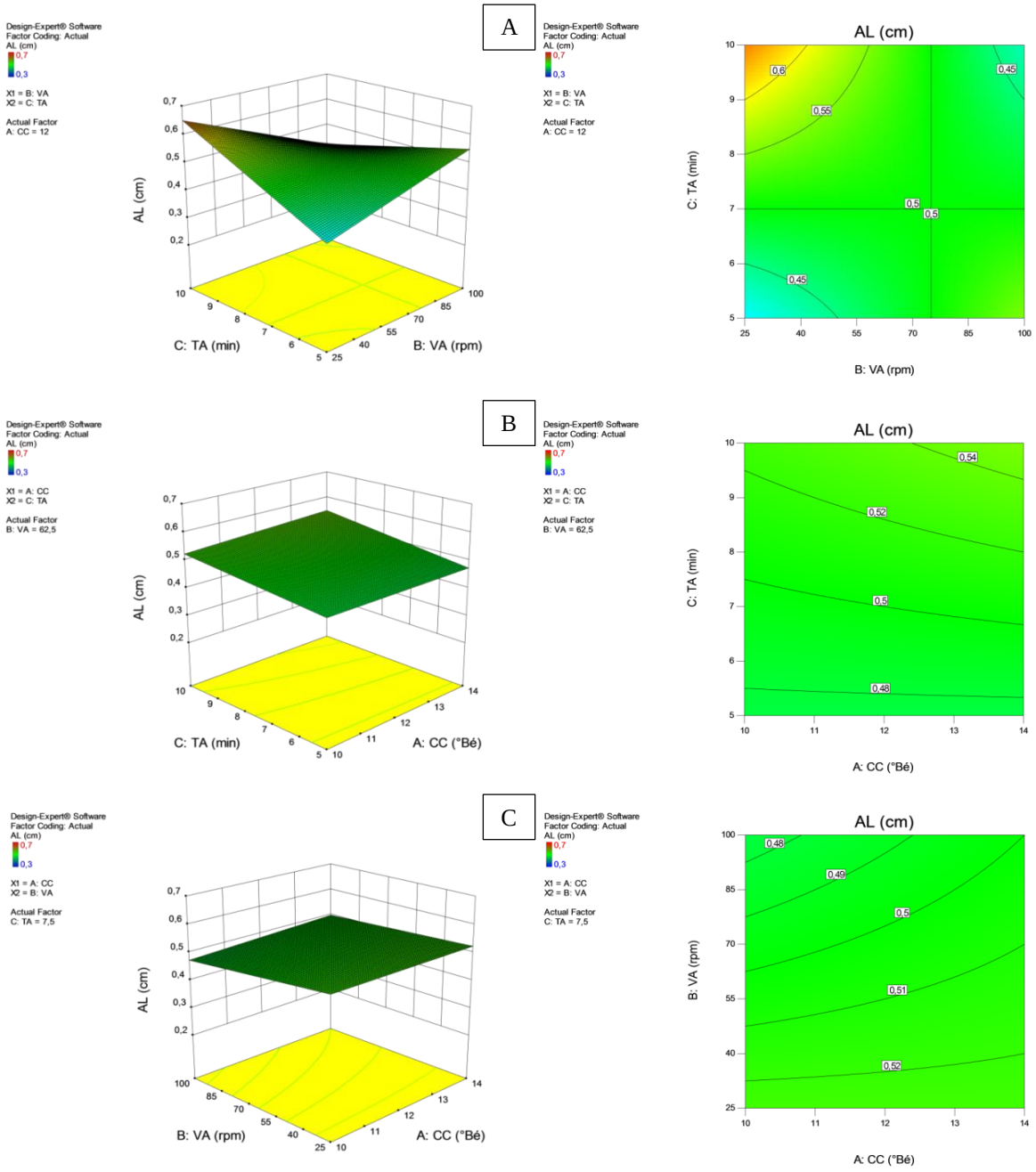

Figura 17. AL: Superficie de respuesta y grafico de contorno (A, B y C).
Fuente: Elaboración Propia.

La concentración de coagulante con respecto al tiempo a una velocidad de agitación 62,5 rpm. Se observa que la altura de lodos en intervalo de 0,48 a 0,54 cm. Es proporcional los niveles de los factores, en > A: CC a > C: TA resulta > AL (Figura 17B).

En tanto, la concentración con respecto a la velocidad de agitación en un tiempo de 7,5 minutos se observa la formación de los lodos en una altura de 0,48 a 0,52 cm. Donde, en > A:CC a < B:VA resulta > AL (Figura 17C).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. La evaluación de las variables de acuerdo a la influencia de agente coagulante en la clarificación de jugo es necesario respecto a los niveles de cada factor la condición de; 10 Bé, 25 rpm y 10 min.
2. Los valores de los parámetros físico-químicos del jugo de caña obtenidos (pH 5, 15 °Brix y 2191,05 NTU) de la extracción están dentro de los rangos recomendados (pH 4,7 a 5,6). Estos pudiesen ser afectados por la madurez, la temperatura y los tiempos prolongados de almacenamiento de la caña antes de su procesamiento que provocan la inversión enzimática de la sacarosa.
3. Una condición operativa a concentración adecuada (10 y 14 °Bé), desestabiliza mejor las cargas negativas a positivas en una agitación lenta a mayor tiempo y calentamiento de 80 ° C acelerando la reacción de la cal con los componentes del jugo en la formación de la altura de lodos (0,3 a 0,7 cm) donde es necesario controlar los efectos trascendentes de las reacciones no enzimática, el déficit de fosfato de la caña, y las temperaturas ≤ 80 °C.
4. La caracterización del jugo clarificado (17 a 19° Brix, pH 5,5 a 5,9, turbidez 603 a 927 NTU y color 4460,71 a 9658,71 IU) y su variación de la calidad dependería del uso correcto del agente coagulante en función a la velocidad y tiempo, ya que en análisis por parte del tiempo agitación existe mayor incidencia sobre la turbidez del jugo.

5.2 Recomendaciones

1. Es necesario que realicen modificaciones tecnológicas para la aplicación de los resultados obtenidos.
2. Que se apliquen los resultados obtenidos en este estudio en la panelera para su validación.
3. Es importante que se realicen estudios para determinar la influencia de otros parámetros operacionales (pH, ºBrix) en el color, en la turbidez y en la altura del lodos.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Rivera, N. (2010). La caña de azúcar y sus derivados en la Huasteca San Luis Potosí México. *Diálogos Revista Electrónica de Historia, 11*(1), 81-110.

Alfaro Herrera, O. F., García Cárcamo, R. A., y Renderos Arrué, J. C. La generación de color en el proceso de producción de azúcar: Influencia de la materia prima. *Raíces, 8868*, 28900.

Association of official analytical, c. (1990). *Official methods of analysis : Supplements*. Arlington: Association of Offical Analytical Chemists.

Avalos Ludeña, J., y Ponte Ramírez, R. (2019). Efecto del pH y temperatura en la clarificación del jugo de caña de azúcar (saccharum officinarum) por carbonatación.

Batule, E. (2004). La clarificación del jugo de la caña y la meladura. *Tecnólogo Azucarero-El Salvador: Serie azucarera, 15*.

Castro, D. N. I., Alim, y Zapata, G. N. I., Qco. (1992). Manual de Elaboracion de Panela y otros Derivados de la Caña.

Dionisi, F. A. R., Aoki, I. V., y Calabrese, R. J. (2008). Sugar cane juice clarification process. In: Google Patents.

Eggleston, G. (2000). Hot and cold lime clarification in raw sugar manufacture I: juice quality differences. *International sugar journal, 102*(1220), 406-416.

Escudero Jaramillo, F. M., y Diestra Galarreta, A. G. (2016). Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes en el color y turbidez del jugo clarificado en Agroindustrias San Jacinto SAA.

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

Gallardo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. *Universidad Distrital Francisco José de Calda*.

García, H. R., Albarracín, L. C., Toscano LaTorre, A., Santana, N., y Insuasty, O. (2007). Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera.

Giraldo, M. (2005). Evaluación del efecto de materia extraña vegetal (hojas, cogollos, chulquines) en el proceso de clarificación de jugos de caña de azúcar. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Agroindustrial. Palmira, Colombia*.

Goyes Terán, G. A. (2014). Reingeniería del proceso de clarificación del jugo de caña en el ingenio azucarero del norte IANCEM.

Hamerski, F. (2009). *Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar.* Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba,

Hassibi, M., y Singh, I. (2014). *La preparación de la Lechada de Cal y su impacto en la eficiencia del proceso de flotación y costo de operación.* Paper presented at the I International Congress of Minerals Flotation.

Hernández, H. N., y Beltrán, L. R. (2014). Impacto de la materia extraña en la calidad de los jugos de caña y en los indicadores de eficiencia de un central azucarero.

Hinostroza Castro, N., y Toranzo Escudero, G. (2018). Efecto de la aplicación de bactericida Procide BC 800 en la inversión de sacarosa durante el proceso de extracción del jugo de caña (sacchram officinarum).

Honig, P. (2013). *Principles of sugar technology*: Elsevier.

Icumsa, y Verlag Dr. Albert, B. (2019). *ICUMSA Methods Book 2019 includes supplements 1998, 2000, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019*.

Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la caña de azúcar. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Eds. Cassalett, C*, 337-354.

Leitón Rosero, F., y Ramíres Calderón, M. (2011). *Purificación y estabilización del jugo de caña de azúcar (Saccharum Officinarum L).*

Loyo Godoy, M. D. C. (2018). *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*.

Marín, O. L. V. (2012). Determinación de las condiciones apropiadas de preparación de un floculante como componente fundamental en el proceso de clarificación de jugo en Riopaila Castilla S.A, Planta Riopaila.

O'Dell, J. W. (1996). Determination of Turbidity by Nephelometry. 378-387.

Pérez, I., y Cánepa de Vargas, L. (2006). 1. Coagulación.

Quezada Moreno, W. F. (2012). Guía técnica de agroindustria panelera. In.

Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*: Bartens.

Rivas Obregón, D. A. (2012). *Estudio experimental de la incidencia del coagulante, floculante y tiempo de sedimentación en el proceso de clorificación de jugo a escala de laboratorio para la elaboración de azúcar blanco especial*. Universidad Nacional de Ingeniería,

Samame Toro, Y. Y. (2019). Dosis óptima del mucílago de Opuntia ficus-indica para mejorar la calidad del agua del río la Leche, Lambayeque.

Sanchez, S. A. M., Carrera, J. E., y Castillo, H. S. V. (2007). Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el Departamento del Cauca. *ingresar a la revista, 5(1), 17-27.*, *5*(1), 17-27.

Valle Ramírez, S., Iparraguirre Cruz, M., Puertas Arias, A., Rodríguez Rodríguez, S., Fiallos Robalino, A., Hidalgo Díaz, L., y Miranda Cabrera, I. (2015). Evaluación de dos métodos de monitoreo de Mahanarva andigena Jacobi en el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum spp., híbrido) en la provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista de Protección Vegetal*, *30*(3), 185-192.

Zepeda Guardado, E. R. (2012). *Propuesta de alternativas para la reducción de pérdidas de sacarosa en un ingenio azucarero.* Universidad de El Salvador,

Zossi, B., Cárdenas, G. J., Sorol, N., y Sastre, M. (2010). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (R. Argentina): Parte 1: caña limpia y despuntada. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*.

Zossi, B. S., Cárdenas, G. J., Sorol, N., y Sastre, M. (2012). Análisis del proceso de sulfitación en la remoción de compuestos no azúcares en jugos de variedades de caña de Tucumán (R. Argentina). *Revista industrial y agrícola de Tucumán, 89*(2), 9-24.

CAPITULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Valores de absorbancia filtrada a 420 nm y grados Brix inferiores al 10% para la determinación de color del jugo clarificado.

Absorbancia filtrado a 420 nm	Grados Brix Filtrado	Peso del jugo (g)	Volumen de jugo (ml)
0,798	5,4	28,94	28,42
1,047	4,7	30,55	30,08
0,855	4,9	30,55	30,06
0,796	4,8	32,35	32,84
1,006	5,3	30,55	30,01
1,167	5,2	32,35	31,79
1,129	5,4	30,55	30,00
0,982	5,2	28,94	28,44
0,925	5,0	30,55	30,05
0,823	4,7	28,94	28,50
0,997	5,2	32,35	31,79
1,171	4,7	32,35	31,85
1,064	4,6	30,55	30,09
0,451	3,9	32,35	31,95
0,459	4,0	28,94	28,57
0,456	3,9	32,35	31,95

Anexo 2. Los valores de grados Brix inferiores al 10% y densidad aparente a 20 °C por 100 mL de solución azucarada.

porcentaje de sacarosa por peso (ºBrix)	Densidad aparente a 20°C
4.0	1.01282
.1	.01322
.2	.01361
.3	.01401
.4	.01441
.5	.01480
.6	.01520
.7	.01560
.8	.01600
.9	.01640
5.0	1.01680
.1	.01719
.2	.01759
.3	.01799
.4	.01839
.5	.01879
.6	.01919
.7	.01959
.8	.01999
.9	.02040
6.0	1.02080