

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E. A. P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE DOS TIPOS DE
FLOCULANTES EN EL COLOR Y TURBIDEZ DEL JUGO
CLARIFICADO EN AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A.A.”**

TÉSIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TESISTAS:

- ✓ BACH. ESCUDERO JARAMILLO FRED MIGUEL
- ✓ BACH. DIESTRA GALARRETA ALEX GABRIEL

ASESOR:

- ✓ DRA. PAUCAR MENACHO LUZ

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2016

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, estamos muy agradecidos con Dios, quien es el que siempre nos guió y nos ayudó a vencer los obstáculos para llegar a este anhelado momento de poder concluir nuestra tesis.

Agradecemos también a nuestra familia, quienes en todo momento depositaron su confianza en nosotros y nos apoyaron incondicionalmente, ellos siempre estuvieron motivándonos y brindándonos de su ayuda y consejos para poder culminar este proyecto.

A todos los profesionales del área de Elaboración de Azúcar y en especial del área de Control de Calidad, por permitirnos acceder a sus áreas para realizar nuestras pruebas experimentales, por mostrar su amabilidad y brindarnos de sus conocimientos prácticos y teóricos, fueron piezas claves para llevar un trabajo con éxito.

Estamos agradecidos también con nuestro colega y amigo, el Ing. Lenin Palacios A., por siempre estar dispuesto a apoyarnos en todo y un agradecimiento muy especial a nuestra asesora, la Dra. Luz Paucar Menacho, por su asesoría para la elaboración y culminación de nuestro trabajo.

Además, agradecemos a nuestra querida Universidad Nacional del Santa, especialmente a la Escuela de Ingeniería agroindustrial donde nos hemos formado profesionalmente y logrado adquirir conocimientos que jamás olvidaremos.

Los Tesistas.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivos generales	15
2.2. Objetivos específicos	15
III. MARCO TEÓRICO.....	16
3.1. Caña de Azúcar	16
3.1.1. Origen	16
3.1.2. Aspectos Generales	17
3.1.3. Composición de la Caña de Azúcar.....	19
3.1.4. Cosecha en el Perú	25
3.1.5. Producción en el Perú	26
3.2. Jugo de Caña de Azúcar.....	27
3.2.1. Composición química de las sustancias presentes en el jugo diluido	28
3.3. Azúcar	36
3.4. Proceso Tecnológico de la Obtención de Azúcar	37
3.4.1. Recepción y descarga de la Caña	37
3.4.2. Lavado y preparación de Caña.....	37
3.4.3. Molienda.....	37
3.4.4. Clarificación.....	38
3.4.5. Filtración.....	38
3.4.6. Evaporación	39
3.4.7. Cristalización	40
3.4.8. Centrifugación	40
3.4.9. Secado	41

3.4.10. Envasado	41
3.5. Clarificación de Jugo de Caña	43
3.5.1. Floculación	46
3.5.2. Tipos de Floculantes	50
3.5.3. Color.....	51
3.5.4. Turbidez	54
3.6. Equipos para la clarificación de jugo.....	54
3.6.1. Clarificadores multibandeja	54
3.6.2. Clarificadores rápidos.....	57
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	60
4.1. Ambientes donde se desarrolló el estudio.....	60
4.2. Materiales	60
4.2.1. Materia prima	60
4.2.2. Floculantes.....	62
4.2.3. Reactivos e insumos	62
4.2.4. Materiales complementarios.....	62
4.2.5. Equipos e instrumentos	63
4.3. Métodos.....	67
4.3.1. Análisis fisicoquímicos.....	67
4.3.2. Proceso para la preparación de la solución madre	70
4.3.3. Preparación de la muestra y adición de la solución madre	72
4.4. Diseño Experimental.....	76
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
5.1. Condiciones del jugo encalado y de la solución madre	77
5.2. Influencia del tipo de floculante y su concentración sobre el color	80
5.3. Influencia del tipo de floculante y su concentración sobre la turbidez	82

5.4. Influencia del tipo de floculante y su concentración sobre la velocidad de sedimentación	85
5.5. Evaluación del porcentaje de remoción.....	90
5.6. Efecto sobre el pH	93
5.7. Efecto sobre el °Brix	95
5.8. Evaluación del costo/beneficio	97
VI. CONCLUSIONES.....	99
VII. RECOMENDACIONES	100
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
IX. ANEXOS	105
9.1. Anexo 1	105
9.2. Anexo 2	106
9.3. Anexo 3	107
9.4. Anexo 4	108
9.5. Anexo 5	109
9.6. Anexo 5	110
9.7. Anexo 6	111
9.8. Anexo 7	122
9.9. Anexo 8	123
9.10. Anexo 9	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Composición de la caña de azúcar</i>	19
Tabla 2: <i>Análisis típico de caña limpia, hojas y cogollo</i>	21
Tabla 3: <i>Análisis de caña comercial entregada comparada con tallos limpios</i>	22
Tabla 4: <i>Análisis típicos de la fibra de caña (en g/100g materia seca)</i>	22
Tabla 5: <i>Superficie Cosechada de Caña de Azúcar (ha)</i>	25
Tabla 6: <i>Producción de Caña de Azúcar (t)</i>	26
Tabla 7: <i>Composición de carbohidratos en el jugo de caña</i>	28
Tabla 8: <i>Composición de minerales en el jugo diluido</i>	29
Tabla 9: <i>Ácidos orgánicos no nitrogenados presentes en el jugo diluido</i>	30
Tabla 10: <i>Aminoácidos presentes en el jugo diluido</i>	31
Tabla 11: <i>Comparación de polímeros catiónicos y aniónicos</i>	51
Tabla 12: <i>Análisis fisicoquímicos de la materia prima</i>	61
Tabla 13: <i>Análisis fisicoquímicos del jugo de caña después de su extracción</i>	61
Tabla 14: <i>Diseño Factorial 2x3 en un DCA</i>	76
Tabla 15: <i>Parámetros fisicoquímicos del jugo encalado</i>	77
Tabla 16: <i>Parámetros fisicoquímicos de la solución madre</i>	77
Tabla 17: <i>Análisis de color del jugo clarificado</i>	80
Tabla 18: <i>Análisis de Varianza para Color (ANOVA)</i>	81
Tabla 19: <i>Análisis de la turbidez del jugo clarificado</i>	82
Tabla 20: <i>Análisis de varianza para turbidez (ANOVA)</i>	83
Tabla 21: <i>Resultado de la velocidad de sedimentación (ml/s)</i>	85
Tabla 22: <i>Resultados del %remoción en el jugo clarificado</i>	90
Tabla 23: <i>Efecto de los floculantes sobre el pH</i>	93
Tabla 24: <i>Efecto de los floculantes sobre los °Brix</i>	95
Tabla 25: <i>Resumen del efecto del floculante sobre el color y turbidez</i>	97
Tabla 26: <i>Datos obtenidos para la determinación del color y turbidez del jugo clarificado con el tratamiento del floculante Lipesa 1538</i>	105
Tabla 27: <i>Datos obtenidos para la determinación del color y turbidez del jugo clarificado con el tratamiento del floculante Bozefloc A-61 BT</i>	106

Tabla 28: <i>Datos obtenidos para la determinación de la velocidad de sedimentación con el tratamiento del floculante Lipesa 1538</i>	107
Tabla 29: <i>Datos obtenidos para la determinación de la velocidad de sedimentación con el tratamiento del floculante Bozefloc A-61 BT</i>	108
Tabla 30: <i>Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de remoción con el tratamiento del floculante Lipesa 1538 y Bozefloc A-61 BT</i>	109
Tabla 31: <i>Registro de control de operación de clarificación de jugo – Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.</i>	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas del ciclo vegetativo de la caña de azúcar (Leal S.; Martínez G.; Torres R., 2005).....	17
Figura 2: Formación de sacarosa a partir de glucosa y fructosa (Rein P., 2012)..	19
Figura 3: Estructura básica de los compuestos fenólicos (Larrahondo J., 1995)..	33
Figura 4: Posibles vías de la termólisis de la sacarosa y formación de melanoidinas durante el procesamiento de la caña de azúcar (Larrahondo J., 1995).	35
Figura 5: Estructura molecular de la sacarosa (Li Loo Kung, 2002, citado por Zepeda, E. 2012)	36
Figura 6: Proceso de obtención de azúcar (Ramos A., 2012).	42
Figura 7: Resumen del proceso de coagulación y floculación (Eduardo Batule, 2004).	47
Figura 8: Entrelazamiento de impureza con la cadena del floculante a través del puente iónico del calcio (Rein P., 2007).....	48
Figura 9: Composición del floculante (Rein P., 2012).....	50
Figura 10: Posibles vías de la termólisis de la sacarosa y formación de melanoidinas durante el procesamiento de la caña de azúcar (Shafizadek et al., 1979 citado por Eduardo Batule, 2004).....	53
Figura 11: Clarificador Dorr “ATV” (Rein P., 2012).	56
Figura 12: Clarificador “RapiDorr” (Dorr-Oliver) (Rein P., 2012).....	57
Figura 13: Clarificador rápido SRI (diseño original) (Rein P., 2012).	58
Figura 14: Multiparámetro digital, marca: HACH / modelo: HQD40.....	63
Figura 15: Refractómetro digital, marca: ATAGO/Modelo: RX5000.....	63
Figura 16: Espectrofotómetro digital, Marca: THERMO SCIENTIFIC/Modelo: Genesis 10S VIS	64
Figura 17: Plancha de calentamiento múltiple con agitación magnética/modelo: AM4	64
Figura 18: Balanza de precisión, marca: SARTORIUS / Modelo: TE3102S	65
Figura 19: Bomba de vacío, Marca: PALL / Modelo: DOA – P730 – BN.....	65
Figura 20: Cocina eléctrica	66

Figura 22: Pesar 35 gr. de cada floculante.....	71
Figura 21: Llevando el agua destilada a un pH	71
Figura 24: Agregando los 35 gr. de floculante.....	71
Figura 23: Maduración por 4 hrs. en agitación constante.	71
Figura 25: Calentando el jugo mezclado hasta ebullición.....	72
Figura 26: Agregando el jugo caliente a la probeta de 500 ml.....	72
Figura 27: Agregando las dosis de los floculantes (3, 6 y 9 ppm).....	73
Figura 28: Observando la clarificación del jugo.....	73
Figura 30: Muestras de jugo clarificado después de la sedimentación.	73
Figura 29: Recolectando el jugo clarificado.....	73
Figura 31: Lectura de los °Brix.....	74
Figura 32: Lectura del pH.....	74
Figura 33: Lectura de la absorbancia en determinación de color y turbidez.	74
Figura 34: Diagrama de flujo para la evaluación experimental de los floculantes.	75
Figura 35: Diagrama de flujo para la producción de azúcar rubia – Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.	122

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participación departamental en la superficie cosechada (%), Año 2012 (MINAG, 2013).....	26
Gráfico 2: Participación departamental en la producción de caña de azúcar (%), Año 2012 (MINAG, 2013).....	27
Gráfico 3: Influencia del grado de hidrólisis del floculante en la velocidad de sedimentación del jugo claro y en la turbiedad (Gil, N. 2008)	49
Gráfico 4: Gráfico de interacciones con respecto al color.	81
Gráfico 5: Gráfico de interacciones para la turbidez.....	84
Gráfico 6: Perfil de la velocidad de sedimentación del floculante Lipesa 1538.....	87
Gráfico 7: Perfil de la velocidad de sedimentación del floculante Bozefloc A-61 BT.	87
Gráfico 8: Perfil del volumen de compactación de lodos para el floculante Lipesa 1538.....	88
Gráfico 9: Perfil del volumen de compactación de lodos para el floculante Bozefloc A-61 BT.	89
Gráfico 10: Porcentaje de remoción obtenido en el jugo clarificado.	91
Gráfico 11: Gráfico de interacciones para el porcentaje de remoción	92
Gráfico 12: Efecto del tipo de floculante y sus concentraciones sobre el pH.....	94
Gráfico 13: Efecto del tipo de floculante y sus concentraciones sobre los °Brix. ...	95

RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra cuál es la influencia que tienen los floculantes Lipesa 1538 y Bozefloc A-61 BT sobre el color y turbidez del jugo clarificado en la etapa de clarificación para la producción de azúcar rubia en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

Se trabajó a nivel laboratorio, usando como materia prima el jugo encalado con las condiciones normales del proceso, al cual se le aplicaron los floculantes Lipesa 1538 y Bozefloc A-61 con unas concentraciones de 3ppm, 6ppm y 9 ppm con el fin de determinar cuál de los dos floculantes y su concentración óptima traerá mejoras el color y turbidez del jugo clarificado.

Las respuestas a los tratamientos reportaron que el floculante Lipesa 1538, mejora la clarificación del jugo a una dosificación de 6 ppm con resultados de 9997.83 UI para el color y 3708.7 UI para la turbidez; mientras que el floculante Bozefloc A-61 BT obtiene mejores resultados a una dosificación de 9 ppm con valores de 10385.88 UI sobre el color y 3451.03 UI sobre la turbidez. Así mismo el floculante que removió más impurezas en el proceso de clarificación fue el Bozefloc A-61 BT, con una dosis adecuada de 6 ppm y 92.34% de porcentaje de remoción.

Por otro lado, el floculante que más rápido realiza la sedimentación es Lipesa 1538 con una velocidad máxima de 5.75 ml/s a 9 ppm de dosificación, en comparación del floculante Bozefloc A-61 BT, quien sedimenta más rápido a una dosificación de 9 ppm con una velocidad de sedimentación de 5.11 ml/s.

ABSTRACT

The present research work shows the influence of the flocculants Lipesa 1538 and Bozefloc A-61 BT on the color and turbidity of the clarified juice in the clarification stage for the production of blond sugar in the company Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

It was worked at laboratory level, using as raw material the liming juice with the normal conditions of the process, to which the flocculants were applied Lipesa 1538 and Bozefloc A-61 with concentrations of 3ppm, 6ppm and 9 ppm in order to determine which of the two flocculants and their optimal concentration will bring improvements in the color and turbidity of the clarified juice.

Responses to treatments reported that the Lipesa 1538 flocculant improves clarification of juice at a dosage of 6 ppm with results of 9997.83 IU for color and 3708.7 IU for turbidity; While the flocculant Bozefloc A-61 BT obtains better results at a dosage of 9 ppm with values of 10385.88 IU on the color and 3451.03 IU on the turbidity. Also the flocculant that removed more impurities in the clarification process was the Bozefloc A-61 BT, with a maximum removal of 92.34% and 92.35% at the dosages of 6 ppm and 9 ppm respectively.

On the other hand, the fastest settling flocculant is Lipesa 1538 with a maximum speed of 5.75 ml/s at 9 ppm of dosing, compared to the flocculant Bozefloc A-61 BT, which sediments faster at a 9 ppm dosage with a sedimentation rate of 5.11 ml/s.

I. INTRODUCCIÓN

En el mercado actual es cada día mayor la tendencia de los Ingenios Azucareros, a trabajar con proveedores de diferentes marcas comerciales por un periodo determinado ,1 a 2 meses aproximadamente, según lo acordado Ingenio - Proveedor y eficacia del producto durante el periodo de prueba en la Etapa de Clarificación.

En respuesta a la demanda de dichos floculantes, se han desarrollado un conjunto de análisis en la Etapa de Clarificación, la cual se fundamenta en la combinación de distintos factores, concentración y tipo de floculante.

En los últimos 10 años en el Ingenio Agroindustria San Jacinto S.A.A. – Perú, lleva trabajando con 4 proveedores de diferentes marcas comerciales, de las cuales destacan TAWA y LIPESA, pero aún no se define con que proveedor trabajar; ya que el Beneficio/Costo en ambos casos no difiere mucho, pero ello depende en gran medida de la composición de la caña que ingresa durante el día, lo cual representa un factor importante a la hora de elegir la mejor opción. Otro factor es la concentración óptima del floculante a dosificar, la cual conducirá a un eficiente trabajo del clarificador con la correcta eliminación de impurezas, que es parte esencial del proceso de fabricación del azúcar crudo y representa un punto crítico dentro del esquema tecnológico.

Esto se debe a que la clarificación afecta el rendimiento en azúcar cruda, así como, a la calidad del producto final (**Chen, 2000; Abdel - Razig et al.,2010**). Por ello, se ha estudiado la forma de mejorar la eficiencia de la clarificación a través del uso de floculantes, controlando variables técnicas como la concentración de estos, para mejorar la eficiencia de la separación e incrementar la transparencia del jugo clarificado (**Chen, 2000; Mkhize y Dvis, 2004; Abdel - Razig et al., 2010**).

Esta evaluación de control de las diferentes variables de operación y el tipo de floculante utilizado a escala de laboratorio, permite mejorar el Color y Turbidez del jugo clarificado haciendo más eficiente la etapa de clarificación, obteniendo una mejor pureza y turbidez del jugo clarificado, respecto a los controles y floculación llevados antes de estas mejoras.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales

- Evaluar la influencia que tienen la concentración dosificadora de los floculantes LIPESA 1538 Y BOZEFLOC A-61 BT en el color y turbidez del jugo clarificado en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar con qué floculante se puede realizar una mejor clarificación de jugo.
- Determinar la dosis adecuada de los floculantes LIPESA 1538 Y BOZEFLOC A-61 BT, que actúe favorablemente en la reducción de la turbidez y el color.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas del jugo clarificado: pH, °Brix, Color, Turbidez, %Remoción.
- Determinar la velocidad de sedimentación del lodo en la etapa de clarificación.
- Comparar el beneficio/costo de la aplicación de los floculantes LIPESA 1538 Y BOZEFLOC A-61 BT con los tratamientos que se obtuvieron mejores resultados.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Caña de Azúcar

3.1.1. Origen

El origen de la caña de azúcar difícilmente puede ubicarse con precisión en relación al espacio y al tiempo, sin embargo, la mayoría de autores coincide en que se origina en Nueva Guinea. La literatura hindú la traslada a unos 3000 años a. C. y la literatura China a unos 475 a. C. La obtención de azúcar cruda la ubican a unos 400 a. C.; a Persia llega en el año 500 d. C. y a Egipto en el 710 d. C. El cultivo se extiende por toda Asia y el norte de África hasta el sur de Europa. Desde España en 755 d. C. llegó a las islas Canarias desde donde Colón la llevó al nuevo mundo en 1493 a partir de donde se extendió su cultivo por Centro y Sudamérica.

En la época de la conquista el cultivo de la caña se expandió en América, donde además se devastaron grandes cantidades de bosques para dar paso al cultivo de la caña, como sucedió en las islas de Barbados, Antigua y Tobago. Similar situación ocurrió en Brasil, donde los portugueses la llevaron entre años 1516 y 1600 con un vertiginoso crecimiento. La gran expansión de la azúcar en toda Latinoamérica se explica no solo por el clima favorable sino por la demanda en aumento al momento de consumirla. Ello explica la razón por la que América Latina (AL) superó en producción al resto del mundo en menos de cien años. **(Hernández H., Hernández F., 2013)**. Extraído de http://www.todostuslibros.com/libros/el-sector-canero-en-nayarit-desde-una-perspectiva-organizacional-y-ambiental_978-84-15774-91-4

3.1.2. Aspectos Generales

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa; compuesto que al ser extraído y cristalizado en un ingenio azucarero forma el azúcar (Alvarado P.; Delgado K.; Sibaja M.; Vega J., 2008).

El ciclo vegetativo de la caña de azúcar comprende cuatro etapas principales: germinación, macollamiento, crecimiento y maduración.

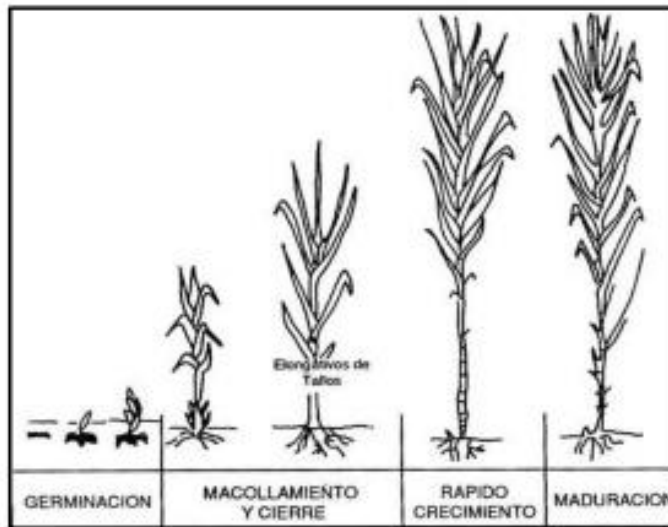


Figura 1: Etapas del ciclo vegetativo de la caña de azúcar (Leal S.; Martínez G.; Torres R., 2005)

a) Etapa 1: Germinación

Esta comienza cuando el cultivo ha sido recién sembrado y a

b) Etapa 2: Macollamiento y cierre

En esta fase, la planta macolla, se desarrolla mayor cantidad de follaje y plantación comienza a cerrar.

c) Etapa 3: Crecimiento

Comprende desde que cierra la plantación hasta el inicio de la maduración de los tallos.

Se caracteriza porque se presenta un crecimiento rápido, así como una elevada acumulación de materia seca. Por lo general el porte de los tallos puede permanecer erecto.

d) Etapa 4: Maduración

Es el proceso fisiológico por el que la producción de materia verde de la planta se reduce para dar paso a la acumulación de carbohidratos en forma de sacarosa en las células de parénquima del tallo.

La etapa de madurez puede ser natural o provocada mediante madurantes químicos.

Para la aplicación de éstos es necesario considerar la variedad, nutrición (especialmente nitrógeno), edad de la planta, entre otras. Este método es utilizado cuando la planta no ha llegado a su madurez y se está en periodo de zafra.

(Alvarado et al, 2008).

Generalmente no se requiere volver a sembrar caña luego de cada cosecha, sino que se deja crecer de nuevo para producir una siguiente cosecha, denominada soca o rebrote. En algunos países como Colombia, Perú y Hawaii, la caña puede ser procesada prácticamente durante todo el año.

El principal objetivo al procesar la caña es recobrar el azúcar, que en su estado puro se conoce con el nombre químico de sacarosa. La sacarosa se forma en la planta a través de un proceso complejo que esencialmente consiste en la combinación de dos azúcares monosacáridos, fructosa y glucosa, lo cual se ilustra en la Figura 2.

La sacarosa tiene fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$ y se designa como un disacárido por estar conformada a partir de dos unidades monosacáridas (Rein P., 2012).

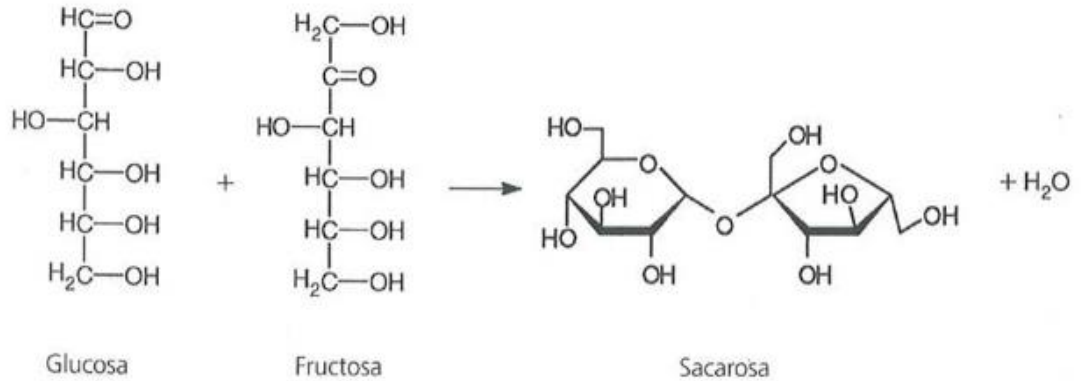


Figura 2: Formación de sacarosa a partir de glucosa y fructosa (Rein P., 2012).

3.1.3. Composición de la Caña de Azúcar

Como en toda industria química de proceso, la composición de la materia prima es fundamental para la tecnología del proceso.

La caña de azúcar y la composición de su jugo es, sin embargo, muy variable por lo que se debe establecer una tecnología flexible para obtener el máximo de eficiencia.

Es importante aclarar que, en la fabricación del azúcar de la caña, el azúcar es formado en el campo y la fábrica sólo efectúa su extracción y posterior cristalización al máximo de eficiencia y rendimientos económicos.

La composición de la caña de azúcar libre de basura es:

Tabla 1: Composición de la caña de azúcar

Materia	%En caña
Agua	73 – 75
Sólidos Solubles	10 – 16
Fibra (seca)	11 - 16

Fuente: Ramos A., 2012.

El “AGUA” permite mediante el proceso de evaporación y condensación, el suministro de casi la totalidad del agua que requiere la fábrica para la producción de vapor (energía) y usos auxiliares del proceso.

La “FIBRA” suministra el combustible necesario para la generación del vapor. Con el balance adecuado y el contenido de fibra en caña normal, el bagazo producido debe ser suficiente para usarlo y quedar un excedente que representa un subproducto para transformarse en Energía eléctrica, papel, etc.

Los “sólidos solubles” contienen la sacarosa, nombre técnico del azúcar, que es el principal objetivo de la fábrica, y además otras sales orgánicas y minerales que van a formar parte de las mieles finales y la cachaza que también son subproductos.

(Ramos A., 2012).

3.1.3.1. Tallos limpios

El contenido de fibra en tallos limpios varía entre 10 y 18 g/100 g de caña. El contenido de sacarosa en cañas procesables puede variar entre 8 y 17 g/100 g caña. El balance del tallo de caña es el agua, que en general constituye aproximadamente 70 g/100 g caña. Los componentes que son no-sacarosas, es decir la diferencia entre sólidos disueltos totales y sacarosa, son también muy variables.

3.1.3.2. Hojas y cogollos

El contenido de humedad de las hojas varía considerablemente dependiendo del grado de secado al cual hayan sido sometidos.

Leal y Hassuani, 2000 citado por Peter Rein, 2012, señalan contenidos de humedad tales como 82.5 g/100 g

cogollo, 66.7 g/100 g hoja verde y 11.3 g/100 hoja seca, con el contenido de cenizas variando entre 3.2 y 4.3 g/100 g materia seca, que es 1.5 a 2 veces el valor en un tallo entero limpio.

A continuación, se muestra una tabla con la composición de la caña limpia:

Tabla 2: *Análisis típico de caña limpia, hojas y cogollo*

Referencia	Brix (g/100 g muestra)	Pol (g/100 g muestra)	Pureza aparente (%)	Fibra (g/100 g muestra)	Humedad (g/100 g muestra)
Tallo limpio Scott et al. (1978)	16.7	14.8	89	12.8	70.5
Cogollos Scott et al. (1978)	6.7	1.4	21	16.6	77.7
Hojas Scott et al. (1978)	7.8	1.5	19	58.6	33.6
Tallo limpio Ivin & Doyle (1989)	16.6	15.1	91	12.5	70.9
Cogollos Ivin & Doyle (1989)	5.5	2	36	14.8	79.7
Tallo limpio Birkett (1965)	15.3	12.9	84	13	71.7
Cogollos Birkett (1965)	9.7	5.5	57	11.2	79.1
Hojas Birkett (1965)				61	
Tallo limpio Gil (2003)	14.2	11.9	83.6	12.7	73.1
Cogollos Gil (2003)	5.1	1.2	24.1	17.7	77.2
Hojas Gil (2003)	4.2	0.1	2.7	32.2	63.5

Fuente: Rein P., 2012.

3.1.3.3. *Composición típica de caña entregada a la fábrica*

Depende no sólo de la composición del tallo de caña, sino también de otros factores como la variedad de caña, la cantidad de hojas y cogollo, demás materia extraña, la tardanza entre quema, corte y entrega a la fábrica.

En la siguiente tabla se muestra las cifras promedio para las principales áreas de cultivo de caña:

Tabla 3: *Análisis de caña comercial entregada comparada con tallos limpios*

	Brasil	Australia	Sudáfrica	Colombia	Filipinas	Mauricio	Luisiana
Pol	14	14.6	12.8	13.2	10	12	14
Brix	16.2	16.4	15	15	12.5	13.8	16
Pureza aparente en %	86	89	85	88	80	87	85
Humedad	70.5	69.3	70	70	72.5	71.2	71
Fibra	13.3	14.3	15	15	15	15	13

Fuente: Reid y Lionnel 1989, citado por Rein P., 2012.

3.1.3.4. Composición de la fibra

La fibra de la caña es una mezcla compleja de celulosa, hemicelulosa y lignina, que provienen de las paredes celulares, los haces vasculares y la corteza del tallo.

La celulosa es un polímero de alto peso molecular compuesto en gran parte de unidades de glucosa. La hemicelulosa está conformada en gran parte de unidades de xilosa con cantidades más pequeñas de arabinosa, que son azúcares de cinco carbonos (pentosas), a diferencia de la glucosa que es un azúcar de seis carbonos (hexosa). La lignina es una sustancia compleja formada en gran parte de compuestos fenólicos aromáticos. Generalmente esta proporciona rigidez o dureza a la fibra de caña.

A continuación, se muestra la siguiente tabla con la composición de la fibra de caña:

Tabla 4: *Análisis típicos de la fibra de caña (en g/100g materia seca)*

	Clarke (1998) Rango	Purchase (1995) Promedio
Celulosa	40 – 58	40
Hemicelulosa	24 – 32	33
Lignina	13 – 22	22
Cenizas/Otros	1 – 4	5

Fuente: Reid y Lionnel 1989, citado por Rein P., 2012.

3.1.3.5. *Monosacáridos*

Son compuestos también conocidos como azúcares reductores. Generalmente estos se encuentran presentes desde en unas pocas unidades porcentuales de la sacarosa para caña madura hasta casi 10 por ciento de la sacarosa para caña inmadura. Los monosacáridos son más abundantes en la parte superior del tallo de caña porque ellos están asociados con el crecimiento de la planta. Por la misma razón, estos componentes son generalmente más elevados en cañas cortadas durante el periodo de alto crecimiento. **(Legendre et al. 1999, citado por Rein P., 2012).**

3.1.3.6. *Polisacáridos*

Son carbohidratos de alto peso molecular presentes en la caña. Se incluyen entre estos al almidón, la celulosa, las gomas, polisacáridos de paredes celulares y dextranas, que se conforman de múltiples unidades de monosacáridos condensadas simultáneamente. La concentración de polisacáridos varía aproximadamente de 1500 a 3000 mg/kg sólidos disueltos **(Legendre et al. 1999, citado por Rein P., 2012).**

3.1.3.7. *Cenizas*

El contenido de cenizas en caña es también más elevado en hojas y cogollos y es además afectado por la variedad de caña. Este es un criterio de selección importante en cultivos de caña desarrollados en sitios como Texas, donde el contenido de ceniza tiende a ser alto **(Legendre et al. 1999, citado por Rein P., 2012).** La sílice representa una proporción significativa del material inorgánico. Sin embargo, el potasio es el catión de mayor

abundancia, seguido de calcio, magnesio y sodio; el cloruro es el principal anión, seguido por el sulfato y fosfato. La relativa abundancia de estos componentes cambia de acuerdo con la variedad y las condiciones del suelo, encontrándose también trazas de otros elementos en menores cantidades. **(Rein P., 2012).**

3.1.3.8. Almidón

Se encuentra presente en la caña en forma de pequeños gránulos insolubles al agua y constituye una reserva de carbohidratos alimenticios. Se forma por condensación de glucosa y consiste en una mezcla de dos polisacáridos. El mayor componente es la amilopectina, que presenta de 75 a 85% del almidón y tiene una estructura altamente ramificada; el resto, la amilasa, es esencialmente un polímero sin ramificaciones. **(Rein P., 2012)**

3.1.3.9. Color

El color del jugo depende en gran medida de la variedad de caña. El color asociado con hojas y cogollos es mucho más elevado que en el tallo limpio. Se estima que un 1% adicional de cogollo o hojas incrementan el color total en 4% y 15% respectivamente **(Lionnet, 1992 citado por Rein P., 2012).**

3.1.3.10. Ácidos orgánicos

Algunos ácidos orgánicos se encuentran en forma natural en la caña, el más abundante de los cuales es el ácido aconítico. Estos son en gran medida responsables de que el pH del jugo este alrededor de 5.3 a 5.5. **(Rein P., 2012).**

3.1.3.11. *Materia extraña*

Las hojas y cogollos son considerados como materia extraña, pero también lo es todo lo demás que sea entregado con la caña incluyendo suelo del campo, suciedad, rocas y pedazos de hierro. Estos materiales son todos perjudiciales, pero generalmente no se miden. **(Rein P., 2012).**

3.1.4. Cosecha en el Perú

El cuadro señala que existen unas 81, 149 hectáreas cosechadas a diciembre del año 2012, superior en un 1.3% con respecto al mismo periodo del año anterior. Esta es la mayor superficie registrada en los últimos 30 años en el Perú. Este crecimiento en la superficie cosechada se debe fundamentalmente por el mayor consumo de los derivados de este cultivo, azúcar rubia como blanca, así como en la producción de alcohol y etanol. Caso similar se registró en el año 2009 con un 9.0% con respecto al año 2008. **(Ministerio de Agricultura, 2013)**

Tabla 5: *Superficie Cosechada de Caña de Azúcar (ha)*

Departamentos	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ancash	5,879	5,591	5,588	5,995	5,105	5,174	5,132	5,684
Arequipa	670	664	769	903	690	638	539	599
La Libertad	24,760	27,056	29,135	28,731	32,367	34,235	37,454	37,067
Lambayeque	18,061	20,047	20,002	21,609	25,927	26,773	25,317	25,710
Lima	12,179	12,488	12,459	11,260	11,260	10,163	11,627	12,089
Total	61,549	65,846	67,953	75,349	75,349	76,983	80,069	81,149
Var %		7.00%	3.20%	1.70%	9.00%	2.20%	4.00%	1.30%

Fuente: MINAG-OEEE

Elaboración: MINAG-DGCA-DIA

Los departamentos que concentran la mayor superficie cosechada al año 2012, son La Libertad con el 45.7% y Lambayeque con el 31.7%, ambos concentran el 77.4% de la superficie cosechada nacional. Los demás departamentos concentran el 22.6%, esto es Lima con 14.9%, Ancash con 7.0% y Arequipa con 0.7% respectivamente. **(MINAG, 2013)**

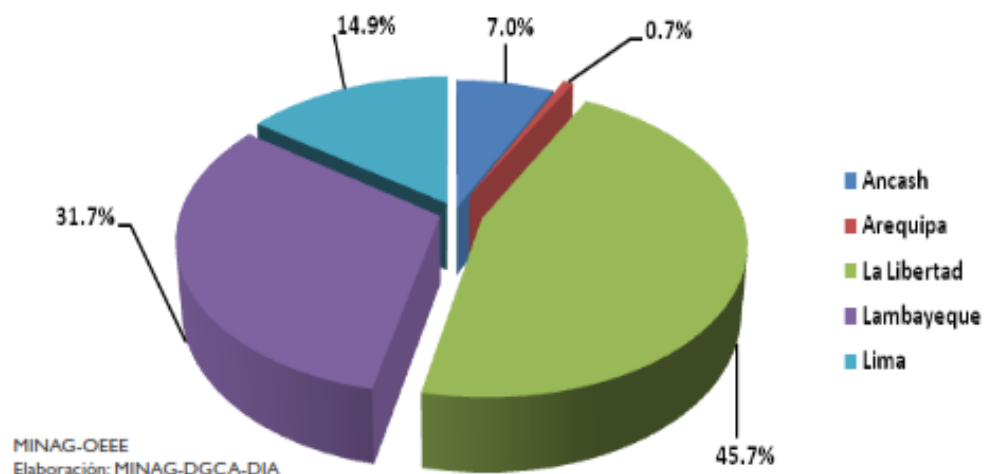


Gráfico 1: Participación departamental en la superficie cosechada (%), Año 2012 **(MINAG, 2013)**

3.1.5. Producción en el Perú

La producción de caña de azúcar viene creciendo a una tasa promedio de 1.8% en los últimos diez años entre el periodo 2002-2011. La mayor producción histórica de caña de azúcar se dio en el año 2012 con 10, 368,866 toneladas producidas. **(MINAG, 2013)**

Tabla 6: Producción de Caña de Azúcar (t)

Departamentos	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Lambayeque	1,274,400	1,689,427	2,111,538	2,689,532	2,982,819	2,824,848	2,748,163	2,767,051
La Libertad	2,888,892	3,284,025	3,760,283	4,345,865	4,807,415	4,911,755	4,977,202	5,234,476
Ancash	512,587	585,778	613,892	628,015	519,197	578,284	663,722	722,001
Lima	1,545,207	1,591,248	1,681,884	1,641,862	1,560,444	1,293,061	1,445,758	1,582,958
Arequipa	82,979	95,354	116,090	90,685	67,069	52,947	50,091	62,380
Total	6,304,065	7,245,833	8,283,686	9,359,959	9,936,945	9,660,895	9,884,936	10,368,866

Fuente: MINAG-OEEE

Elaboración: MINAG-DGCA-DIA

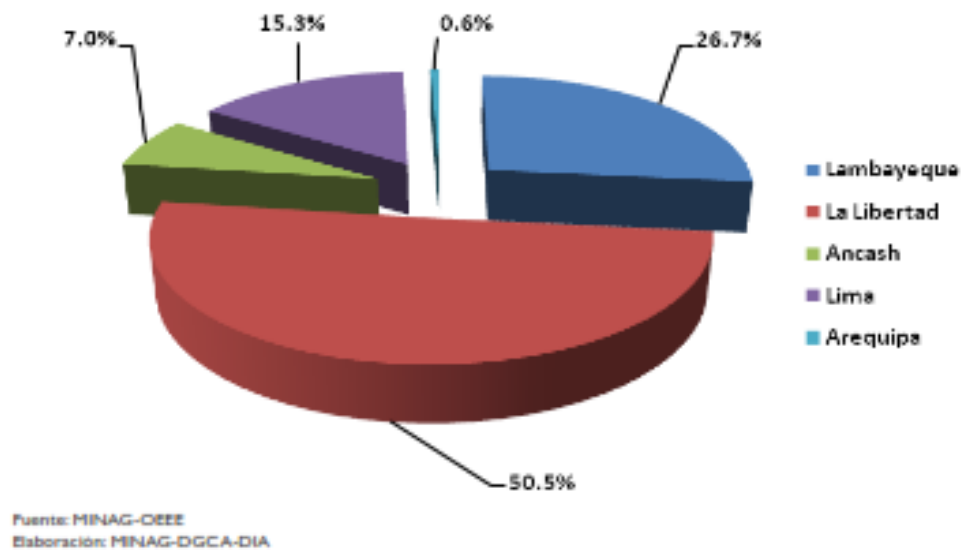


Gráfico 2: Participación departamental en la producción de caña de azúcar (%), Año 2012 **(MINAG, 2013)**.

El departamento con mayor producción es La Libertad con una participación del 50.5%, le sigue Lambayeque con un 26.7%, Lima con 15.3%, Ancash con 7.0% y Arequipa con 0.6% respectivamente. **(MINAG, 2013)**

3.2. Jugo de Caña de Azúcar

El jugo mezclado, proveniente de la extracción de la caña contiene muchos componentes, los que son de mucha influencia en las etapas posteriores para la clarificación de jugo. Estos componentes son:

- Sacarosa, azúcares reductores, monosacáridos. Polisacáridos (dextranas, gomas, almidón).
- Proteínas, compuestos de amino-nitrógeno; ácidos orgánicos (aconítico, málico, cítrico), sales de ácidos inorgánicos (KCl, CaSO₄).
- Materiales insolubles como: ceras, grasas, bagacillo, suelo, arena y partículas de arcilla. El tamaño de estas partículas está en un rango de 0.5

µm a 2 mm. La naturaleza y propiedades superficiales de las partículas determinan su comportamiento fisicoquímico durante la coagulación y floculación. **(Doherty y Edye 1999).**

3.2.1. Composición química de las sustancias presentes en el jugo diluido

3.2.1.1. Carbohidratos

Evidentemente, la que se encuentra en mayor producción 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. **(Larrahondo J., 1995)**

Tabla 7: *Composición de carbohidratos en el jugo de caña.*

Carbohidrato		Concentración
Monosacáridos (%)	Glucosa	0.26 - 0.33
	Fructosa	0.26 - 0.33
	Sacarosa	9.6 - 10.9
Disacáridos (%)	1 - Cestosa	0.26 - 0.33
	6 - Cestosa	0.03 - 0.5
Oligosacáridos (% Brix)	Neo-cestosa	0.01 - 0.4
Polisacáridos (% Brix)	Almidón	0.3 - 1.3

Fuente: Larrahondo J., 1995.

3.2.1.2. Sales Orgánicas

Se presentan como iones y sales solubles o insolubles, constituyentes de macromoléculas orgánicas.

Tabla 8: *Composición de minerales en el jugo diluido.*

Constituyentes		Concentración (% brix)
Cationes	Potasio (K ₂ O)	0.77 - 1.31
	Sodio (Na ₂ O)	0.01 - 0.04
	Calcio (CaO)	0.24 - 0.48
	Magnesio (MgO)	0.1 - 0.39
	Hierro (Fe ₂ O ₃)	0.006 - 0.04
	Aluminio (Al ₂ O 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
	Cloro (Cl)	0.16 - 0.27
Aniones	Fosfato (P₂O₅)	0.14 - 0.4
	Sulfato (como SO ₃)	0.17 - 0.52

Fuente: Giraldo M., 2005.

En algunos trabajos realizados se encontraron aumentos relevantes en la calidad del jugo claro tras la fertilización de suelos con fósforo, pues se considera por varios autores, que la cantidad de fosfatos en el jugo es importante durante el proceso de clarificación debido a que promueve una buena floculación después del enclamiento, sobre todo si se encuentran en concentraciones entre 300 y 600 ppm. **(Giraldo M., 2005).**

El Potasio es indispensable en la planta para la asimilación del carbono y síntesis de proteínas. Déficits de éste reducen el porcentaje de sacarosa y aumentan los niveles de azúcares reductores produciendo altas cantidades de materiales coloreados a causa de su

descomposición térmica, mientras que aplicaciones excesivas significan problemas en fábrica ya que el cloruro potásico cristaliza primero que la sacarosa, produciendo incrustaciones en los evaporadores.

Otros elementos minerales como el Sodio, Calcio y Magnesio comunes en suelos salinos, tienen un efecto melasigénico (producción de mieles) muy relevante, porque promueven la producción de mieles finales de alta pureza. (Larrahondo J., 1995).

3.2.1.3. *Ácidos Orgánicos*

Se dividen en ácidos no nitrogenados y aminoácidos o nitrogenados (ver tabla 9 y tabla 10).

Tabla 9: *Ácidos orgánicos no nitrogenados presentes en el jugo diluido.*

Ácido		Concentración (ppm/% 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: Larrahondo J., 1995.

Tabla 10: *Aminoácidos presentes en el jugo diluido.*

Compuesto	Libre	%sólidos secos en proteína	
Aminoácidos	Asparagina	0.71	---
	Glutamina	0.19	---
	Aspártico	0.11	0.06
	Glutámico	0.05	0.08
	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: Larrahondo J., 1995.

Son los responsables del pH natural del jugo y de la capacidad de absorción de soluciones alcalinas como la cal a causa de la concentración del ácido aconítico.

La acidez también es producida por los polietilenos que absorben oxígeno durante la clarificación de jugo, disminuyendo el pH del jugo claro.

3.2.1.4. Proteínas

Aunque se desconoce la composición completa de proteínas en el jugo diluido, se sabe que la albúmina ocupa el mayor porcentaje.

Debido a que las proteínas son anfóteras (con características ácidas y básicas), su comportamiento químico depende del pH del medio en que se encuentren.

El punto isoeléctrico es aquel en el que las proteínas tienen un mínimo de hidratación y turgencia, es decir, en el que la solución coloidal tiene poca estabilidad y es posible

su destrucción. En el caso de la albúmina, esto ocurre a un pH aproximado a 5.5 donde su precipitación es más evidente a causa de la desnaturalización que sufre (cambio molecular interno). **(Honig P., 1974 citado por Marín L., 2012).**

3.2.1.5. Gomas

Están compuestas fundamentalmente por pentosanas, polisacáridos que al hidrolizarse producen azúcares del grupo de la pentosa. Las pentosanas son sustancias coloidales hidrófilas que incrementan notoriamente la viscosidad de la meladura, debido a que no se eliminan completamente con el proceso de clarificación de jugo. En el jugo diluido, se encuentran pentosas como la arabana y la xilosa. **(Honig P., 1974 citado por Marín L., 2012).**

3.2.1.6. Pectinas

Son sustancias coloidales hidrofílicas que producen viscosidades elevadas en las soluciones (0.1% de solución de pectina tiene viscosidad igual a la de la de una solución de azúcar al 10%). Su estructura general es un ácido poligalacturónico que también contiene unidades de pentosa y pentosanas. Las pectinas son ópticamente activas y su contenido en el jugo no excede el 0.1%. Como se encuentran en los materiales de la pared celular, su cantidad depende del trabajo de extracción realizado en los molinos. Cabe resaltar que las pectinas también incrementan la solubilidad de la sacarosa, por ejemplo, por cada parte de pectina se retienen en solución entre 100 y 500 partes de sacarosa. **(Honig P., 1974 citado por Marín L., 2012).**

3.2.1.7. **Lípidos**

En el jugo diluido 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 (**Svarovsky L., 2000**). “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” (**Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2007**).

3.2.1.8. **Compuestos coloreados**

En el jugo diluido se encuentran principalmente compuestos polifenólicos, como los flavonoides, los cuales son los pigmentos naturales vegetales más relevantes de la caña de azúcar que tienen estructuras de $C_6C_3C_6$ con dos anillos aromáticos característicos de fenol (A y B) mostrados en la *Figura 3*.

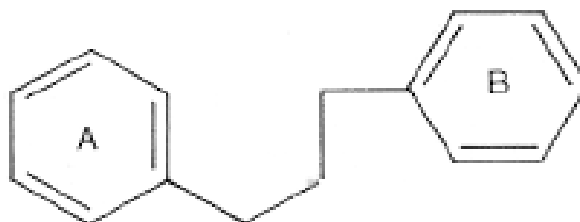


Figura 3: Estructura básica de los compuestos fenólicos (**Larrahondo J., 1995**).

Los flavonoides tienen gran solubilidad en agua y se extraen de los tallos durante la molienda. Existen cinco clases (antocianinas, catequinas, chalcones, flavonoles, flavonas), de los cuales dos generan mayor impacto:

- **Antocianinas:** Constituidos por pigmentos catiónicos que generan color oscuro a pH bajos.
- **Flavonas:** Son derivadas del tricino, el luteolino y el apigenino. Son colorantes ligeramente ácidos y existen en forma no ionizada a pH bajos.

De forma general, los flavonoides aumentan rápidamente el color de los cristales de sacarosa cuando el pH de las soluciones oscila entre 7.0 y 9.0.

Como se mencionó antes, el color también puede ser generado por reacciones durante el procesamiento a causa de interacciones de los compuestos de la caña. Las más comunes son las que ocurren entre fenoles y sustancias nitrogenadas y/o la de los fenoles y el hierro.

Algunos fenoles son incoloros en la caña, pero al oxidarse o reaccionar con aminas producen sustancias coloreadas. También se produce color a causa de la descomposición térmica de la sacarosa y sus monosacáridos (glucosa y fructosa) o por reacciones entre estos y sustancias amino-nitrogenadas que generan unos compuestos coloreados denominados melanoidinas. Estas reacciones se conocen como “Reacciones de Maillard” (Ver Figura 4).
(Larrahondo J., 1995)

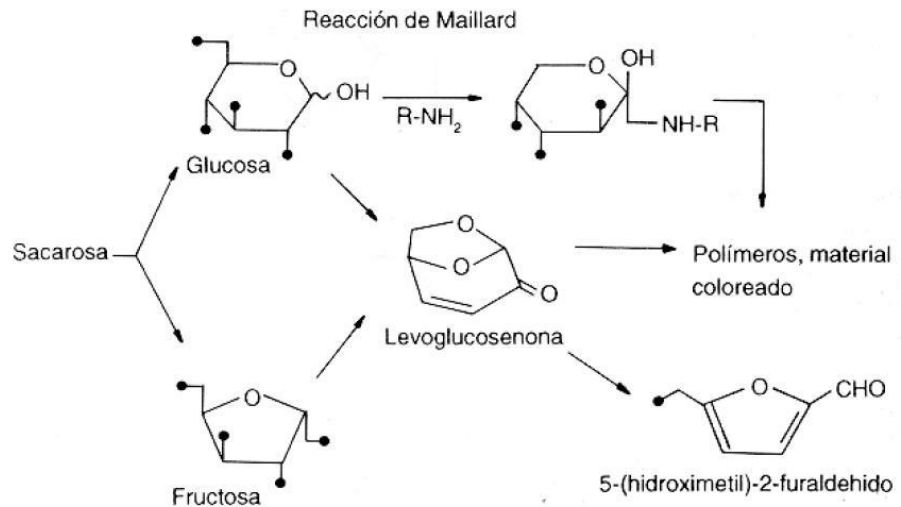


Figura 4: Posibles vías de la termólisis de la sacarosa y formación de melanoidinas durante el procesamiento de la caña de azúcar (Larrañondo J., 1995).

Según el artículo Calidad de la Caña de Azúcar “Los niveles precursores de color (amino-nitrogenados y fenoles) o materiales pigmentados en los jugos, se relacionan con la variedad de la caña. Además, que un déficit o estrés de humedad puede incrementar el contenido de cuerpos coloreados, especialmente de amino-nitrogenados”. (Larrañondo J., 1995)

Se ha demostrado que con la existencia de hierro en el jugo diluido (proveniente de los molinos) se produce un color oscuro dos o tres veces más intenso en medios alcalinos como consecuencia de las interacciones de sus sales con los polifenoles (como la lacasa). Las sales ferrosas se oxidan a férricas por la acción enzimática y son estas las que producen el color durante la combinación. (Honig P., 1974 citado por Marín L., 2012).

Otras investigaciones han demostrado que después de la clarificación de jugo, el color tiende a aumentar cuando el contenido de calcio y nitrógeno es mayor **(Corpoica, 2007)**.

3.3. Azúcar

El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa, obtenidos a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) o de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) mediante procedimientos industriales determinados.

La sacarosa es un carbohidrato de origen natural compuesto por 12 átomos de carbono, 22 átomos de hidrogeno y 11 de oxígeno, su fórmula molecular condensada es $C_{12}H_{22}O_{11}$ (óxigeno 51.42%, carbono 42.10%, hidrogeno 6.48%). Posee un peso molecular de 342.30, es un sólido cristalino que carameliza a 160 °C y es un azúcar no reductor.

La sacarosa de la caña de azúcar es un disacárido natural formado por el enlace bioquímico (enlace glucosídico) de los monosacáridos glucosa (azúcar de uvas o dextrosa) y fructosa (azúcar de frutas o levulosa) **(UNC, 2005, citado por Zepeda, E., 2012)**

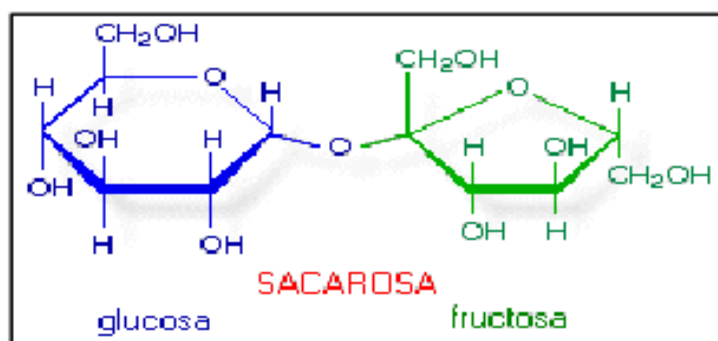


Figura 5: Estructura molecular de la sacarosa (Li Loo Kung, 2002, citado por Zepeda, E. 2012)

3.4. Proceso Tecnológico de la Obtención de Azúcar

3.4.1. Recepción y descarga de la Caña

La caña de azúcar que es recepcionada proviene de los campos a través de camiones o tráiler. Esta caña es cosechada en los campos y es quemada in situ.

La caña que llega del campo se muestrea con el objetivo de determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Posteriormente se pesa en básculas y se transporta a almacenes temporalmente o se traslada directamente en las mesas de lavado de caña. **(Rein P., 2012).**

3.4.2. Lavado y preparación de Caña

Se lava la caña con agua limpia a presión utilizando duchas para mejorar el lavado de la misma. La preparación consiste en el desfibramiento de la caña, pasando por un juego de machetes que tienen por función despedazar la caña, seguidamente pasan por los desfibradores. **(Rein P., 2012).**

3.4.3. Molienda

La caña preparada por las picadoras llega al molino, constituido por varios juegos de 4 masas metálicas en medio de las cuales pasa el colchón de caña y mediante presión se extrae el jugo que se recolecta en tanques. Cada molino está equipado con una turbina accionada con vapor de alta presión, un sistema de transmisión y reductores de velocidad. **(Rein P., 2012).**

Este proceso de extracción es llamado IMBIBICION. El bagazo que sale de la última unidad se conduce a calderas para que sirva como combustible y produzca el vapor de alta presión que se emplea en

las turbinas de los molinos para lograr su movimiento y en los turbogeneradores para producir la energía eléctrica requerida por el ingenio. **(Rein P., 2012).**

3.4.4. Clarificación

El jugo obtenido en la etapa de molienda es de carácter ácido (pH entre 5 a 5.5), este es tratado con Sacarato de calcio, la cual eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa. La cal también ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que vienen con el jugo y para aumentar o acelerar su poder coagulante, se eleva la temperatura del jugo encalado mediante un sistema de tubos calentadores. El jugo es calentado con vapor en intercambiadores de tubos y coraza hasta una temperatura de 102 – 105 °C. **(Rein P., 2012).**

En la clarificación de sólidos por sedimentación; los sólidos no azúcares se precipitan en forma de lodo llamado cachaza y el jugo claro queda en la parte superior del clarificador, para su posterior ingreso al tren de evaporación. **(Rein P., 2012).**

3.4.5. Filtración

Los lodos obtenidos durante el proceso de clarificación contienen azúcar y para retirársela se somete a un proceso de filtración al vacío. **(Rein P., 2012).**

A estos lodos se les agrega bagacillo, cal y floculante para aumentar su filtrabilidad, posteriormente se bombean hacia filtros rotatorios al vacío donde se separan los sólidos del jugo resultante. En el filtro se aplica agua condensada contaminada caliente alrededor de 75 ° C con boquillas aspersoras para minimizar la cantidad de sacarosa residual en la cachaza. El jugo turbio resultante se envía hacia proceso nuevamente. **(Rein P., 2012).**

3.4.6. Evaporación

En este proceso se evapora del 73 al 75 % del agua contenida en el jugo clarificado en evaporadores a simple y múltiple efecto. El jugo claro llega a los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 y 12 % y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración de 60 a 65%. Se debe mantener la meladura en este rango pues los tachos no podrán procesar la meladura floja o con baja concentración. **(Rein P., 2012).**

Este proceso se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consiste en varios vasos conectados en serie recibiendo el primero la acción de calor (vapor de escape) y el último la del vacío de cuya combinación resulta que todos los cuerpos quedaran sometidos a presiones descendentes. Este descenso escalonado de la presión absoluta, permite que los vapores del jugo que se desprenden del primer cuerpo, sean utilizados en el siguiente, donde se condensan y, ceden su calor latente, a su vez los vapores que se desprenden en este segundo cuerpo se utilicen en el siguiente y así sucesivamente hasta el último cuerpo. Este descenso escalonado de la presión de cuerpo a cuerpo provoca un descenso también escalonado de la temperatura de ebullición del jugo, y por lo tanto el vapor desprendido en un cuerpo tiene suficiente energía para hacer ebullicir al jugo en el cuerpo siguiente que se encuentra a menor presión. **(Rein P., 2012).**

El jugo se alimenta en la cámara de evaporación del primer cuerpo y se calienta hasta su punto de ebullición y va circulando por los demás cuerpos hasta llegar al último (vaso Melador) que es donde se extrae ya concentrado meladura. **(Rein P., 2012).**

3.4.7. Cristalización

Este proceso se inicia en los tachos y se concluye en los cristalizadores. **(Rein P., 2012).**

Los tachos son evaporadores verticales con la superficie calórica formada por tubos de 4" de diámetro y de 42 48" de altura, formando un haz entre las dos placas a las que están mandriladas. En el centro de la calandria hay un tubo central de amplio diámetro que debe ser la mitad del diámetro del tacho, y que proporciona la circulación de la masa dentro del equipo. Estos equipos trabajan al vacío y son de simple efecto. El material resultante miel y cristales de azúcar se denomina masa cocida. El trabajo de cocimiento en los tachos se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos para lograr la mayor concentración de sacarosa. **(Rein P., 2012).**

La masa cocida obtenida en el tacho es descargada en unos cristalizadores para continuar con el proceso de cristalización iniciada en los tachos. **(Rein P., 2012).**

3.4.8. Centrifugación

Los cristales se separan del licor madre mediante fuerza centrífuga en tambores rotatorios que contienen mallas interiores. Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales, estos cristales se descargan para ser conducidos hacia el secador. **(Rein P., 2012).**

La miel que sale de las centrifugas se bombea a tanques de almacenamiento sea miel A, B o MELAZA para ser utilizadas en los cocimientos de segunda o tercera en el caso de la miel A y B, la melaza es enviada a destilería. **(Rein P., 2012).**

3.4.9. Secado

El azúcar húmedo que sale de las centrifugas se transporta por elevadores y bandas para alimentar al secador que es un tambor rotatorio inclinado en el cual el azúcar se pone en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El aire se calienta con vapor en intercambiadores tipo radiador y se introduce a la secadora con ventiladores. **(Rein P., 2012).**

El azúcar seco sale por el extremo opuesto de la secadora, donde es transportada hacia una malla clasificadora para remover los terrones de azúcar. **(Rein P., 2012).**

3.4.10. Envasado

El azúcar seca y fría se empaca en sacos de diferentes pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta al comercio. **(Rein P., 2012).**

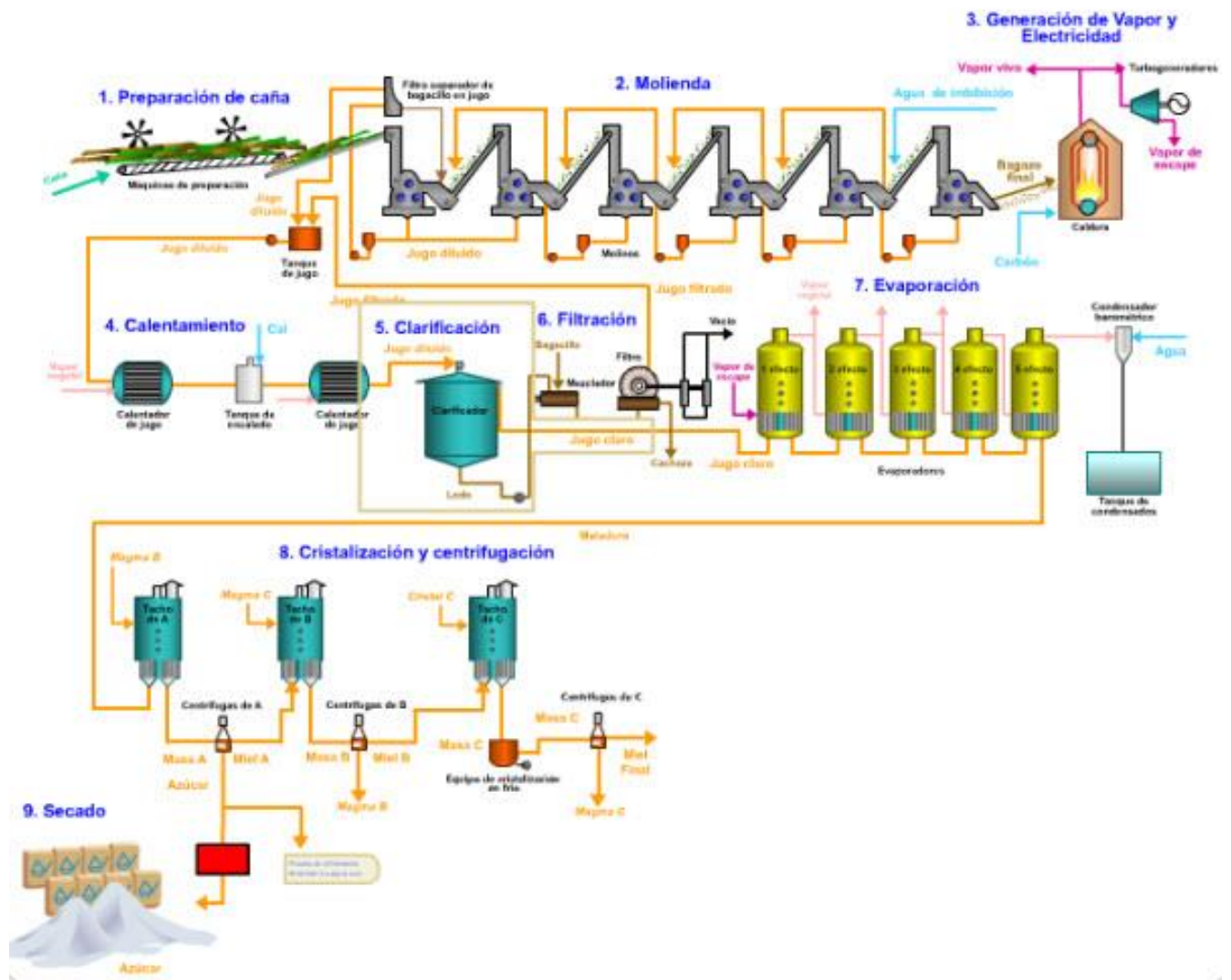


Figura 6: Proceso de obtención de azúcar (Ramos A., 2012).

3.5. Clarificación de Jugo de Caña

La clarificación de jugo se puede realizar por diferentes métodos: Defecación, sulfitación, fosfatación y carbonatación.

- **Defecación:** Tratamiento utilizando cal en solución con agua o jugo (sacarato) para la clarificación.
Las variaciones respecto al proceso de defecación buscan reducir el color y la turbiedad del jugo clarificado.
- **Sulfitación:** Combina el tratamiento con ácido sulfuroso.
- **Fosfatación:** Es la adición de grandes cantidades de fosfato al jugo para mejorar la defecación simple. Es usada para clarificación de jarabes en fábricas de crudo y refinerías.
- **Carbonatación:** Tratamiento del jugo enalado con dióxido de carbono, seguido de una aplicación adicional de cal para neutralizar. Usado para decoloración de jarabes en refinería, en raras ocasiones para clarificación de jugos. **(Rein P., 2012).**

De estos tratamientos el más utilizado es la defecación que usualmente se realiza mediante la combinación de:

- Adición de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 para elevar el valor del pH desde 5.3 hasta 7.2 – 8.0. Generalmente el Ca(OH)_2 se adiciona como sacarato de calcio que es la mezcla de cal con el jugo.
- Calentamiento por etapas, hasta el punto de ebullición y uso de un tanque flash de despresurización y purga rápida que permite remover el aire atrapado o disuelto en el jugo.

El principal agente de precipitación durante esta operación es el fosfato de calcio, que forman la base de los flocs que absorben la mayoría materiales precipitantes.

Durante la defecación no se remueven todas las impurezas solubles. En este proceso muchos de los ácidos orgánicos son eliminados, dado que las sales

de calcio son insolubles y cualquier material albuminoide es coagulado. Parte del contenido de pectina y materia colorante se torna insoluble, mientras que otros componentes (almidón y polisacáridos) pueden hacerse solubles. **(Rein P., 2012).**

La clarificación se lleva a cabo por los siguientes objetivos:

- Formar flocs que atrapan a toda la materia suspendida que y así puedan sedimentar con mayor velocidad.
- Proporcionar condiciones de T°, pH y concentraciones de Iones que maximizan la precipitación de impurezas.
- Producir jugo clarificado con mínima turbiedad, mínimo color y bajo contenido de Calcio (Ca⁺⁺).
- Producir un lodo sedimentado que sea apto para el posterior procesamiento (comúnmente filtración).
- Efectuar todo lo anterior al menor costo, con mínimo tiempo de residencia, mínima pérdida de sacarosa y mínima formación de color en el jugo.
- Obtener un jugo clarificado con un pH que minimice la inversión en la evaporación.

(Rein P., 2012).

- Máxima eliminación de No Azúcares.
- Máxima eliminación de coloides.
- Jugos con baja turbidez.
- Mínima formación de color.
- Máxima velocidad de sedimentación.
- Mínimo volumen de lodos.
- pH del jugo adecuado para evitar inversión de la sacarosa o descomposición de los azúcares reductores.

(Ramos A., 2012).

Los constituyentes del jugo con la cal producen reacciones de tres tipos:

- Formación de sustancias insolubles.
- Formación de sustancias que permanecen en solución.
- Coagulación de suspensiones coloidales y de suspensiones toscamente dispersas.

(Eduardo Batule, 2004).

El jugo de caña es una suspensión coloidal en la cual las partículas suspendidas están cargadas negativamente por lo tanto las partículas se mantienen separadas, para poder hacer que estas partículas se junten y aglomeren formando flóculos se tienen que adicionar una carga positiva al jugo y es lo que se realiza en la alcalización con la adición de iones de calcio. Posteriormente para neutralizar la carga se combina con el uso de polímeros floculantes que incrementan el tamaño de las partículas y mejora el proceso de sedimentación.

Los floculantes usados en la industria azucarera son polielectrolitos aniónicos, que incrementan la capacidad de clarificación en un 25% aproximadamente.

Las tres etapas básicas, según Butler, en el proceso de Clarificación son las siguientes:

- 1.- Reducir el Potencial Z de las partículas dispersas a un valor tan cercado a cero como sea posible.
- 2.-Dejar que las partículas coloidales neutras formen aglomerados.
- 3.- Hacer que los aglomerados formen grandes flóculos resistentes que sedimentarán rápidamente.

(Eduardo Batule, 2004).

3.5.1. Floculación

La floculación ha sido descrita por como una reacción de dos etapas, donde el primer paso consiste en la captura de partículas individuales en micro-flocs, para luego en una segunda etapa ser aglomeradas formando macro-flocs que se pueden sedimentar relativamente rápido. Las poliacrilamidas de mayor hidrólisis son las más eficientes en el primer paso, pero menos eficientes en la segunda etapa de aglomeración, con lo que se obtiene un jugo más claro, pero con flocs que se sedimentan más lentamente. Existe un grado de hidrólisis óptimo que se logra dependiendo del jugo y las condiciones de operación. **(Creas et al, 1977, citado por Rein P. 2012).**

La dosificación normal de los floculantes para efectuar la clarificación es de 2 a 4 ppm con respecto al peso del jugo. Este se prepara primero como una solución madre con una concentración de 0.5 a 0.1%. “No existe un polímero universal” que se ajuste a las diversas condiciones, pero en el caso de un ingenio en particular, es posible que haya un polímero que presente un funcionamiento consistente. **(Eduardo Batule, 2004).**

Chen y colaboradores demostraron que la efectividad de un Floculante no se basa sólo en la velocidad de sedimentación sino más bien en la claridad transparencia del jugo clarificado. La claridad se determina leyendo la absorbancia del jugo a 560 nm, antes (A_1) y después (A_2) de la filtración y expresado $A_1 - A_2$ como la turbiedad del jugo. **(Eduardo Batule, 2004).**

La siguiente figura presenta un resumen del proceso de coagulación y floculación.

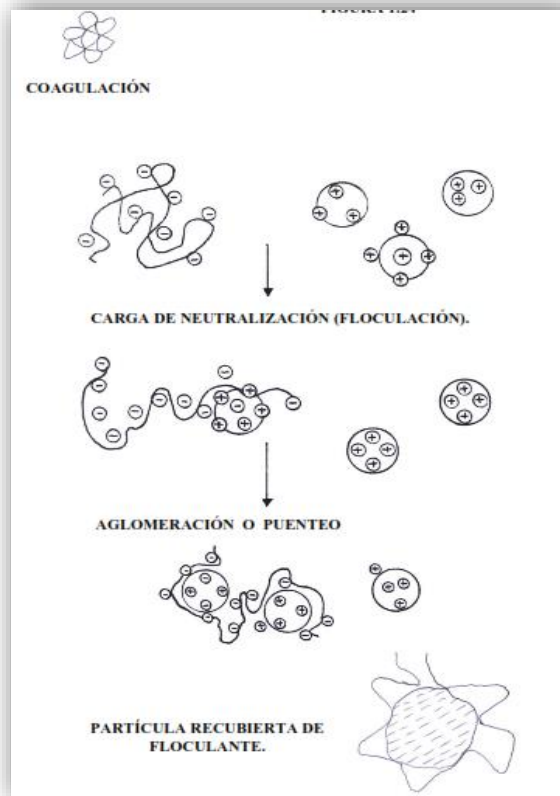


Figura 7: Resumen del proceso de coagulación y floculación (**Eduardo Batule, 2004**).

Es importante recordar que durante la floculación existen una serie de compuestos con carga iónica. Se encuentra, por ejemplo, el fosfato tricálcico precipitado en el proceso de coagulación, el cual posee una carga positiva por la presencia del ion calcio; y se encuentra ahora una solución que contiene enlaces negativos en su estructura: el floculante.

Varios investigadores han atribuido la formación del floculo al contacto electrostático entre estas dos sustancias. Se dice que el ion Ca^{2+} es el encargado de realizar la unión entre la impureza coagulada y el floculante (Ver Figura 28). (**Rein P., 2007 citado por Marín L., 2012**).

El polielectrolito (floculante) con cargas negativas a lo largo de su cadena, se disocia y por un fenómeno electrostático de adsorción se adhiere a la superficie sólida (positiva) de la impureza, generando un cambio físico diferente a la inicial. Dependiendo de esta carga, el sistema coloidal se mantendrá disperso en el medio acuoso o se verá favorecido el acercamiento entre partículas para producir moléculas de mayor tamaño (flóculos). **(Rein P., 2007 citado por Marín L., 2012).**

Aunque los polímeros tienen cadenas extensas y estables, el flóculo formado es susceptible a perturbaciones externas como una agitación turbulenta, por lo tanto, durante este procedimiento de floculación conviene que la agitación sea moderada para evitar que las partículas colapsen y como consecuencia se obtenga impurezas con el jugo (turbiedad alta) que supuestamente es claro. **(Marín L., 2012).**

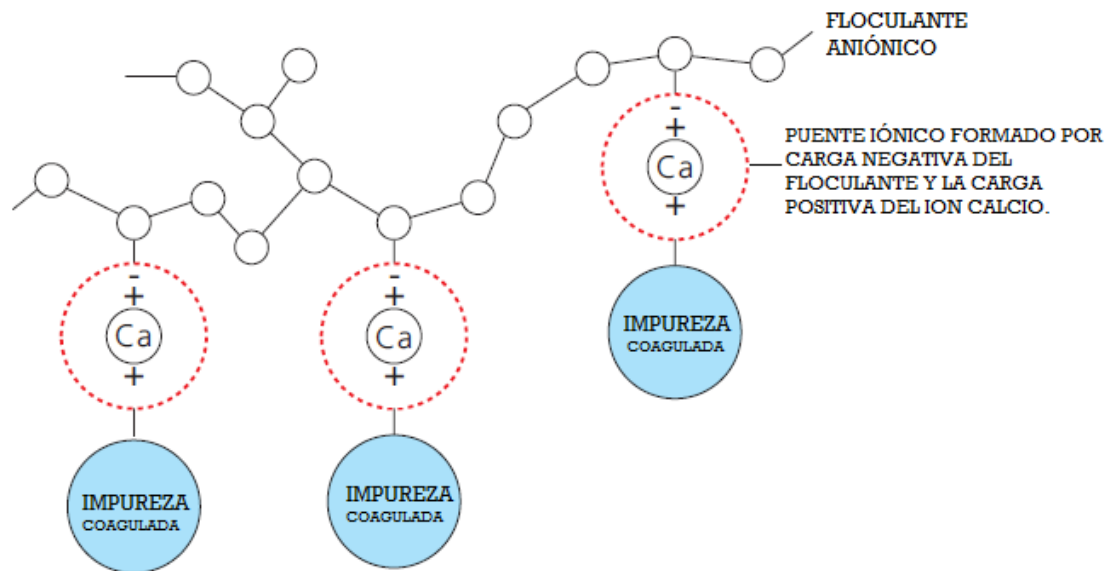


Figura 8: Entrelazamiento de impureza con la cadena del floculante a través del puente iónico del calcio **(Rein P., 2007).**

El “grado de hidrólisis” de un floculante cuantifica sus radicales activos (es decir sus especies iónicas) para determinar qué tan eficiente podría ser el mismo. En el caso de los floculantes aniónicos, el grado de hidrólisis denota la cantidad de fracciones acrilato que posee una molécula de floculante. Esto se hace basándose en la siguiente fórmula (Gil, N., 2008):

$$GRADO DE HIDRÓLISIS (\%) = \frac{100 Y}{(X+Y)}$$

Dónde:

Y = Radicales -COOH ó -COONa

X = Radicales -CONH₂

Se ha comprobado experimentalmente que un grado de hidrólisis entre 25% y 40% (Ver Gráfico 1) asegura un adecuado funcionamiento del floculante, que es donde se obtienen valores menores de turbiedad en el jugo. (Gil, N., 2008):

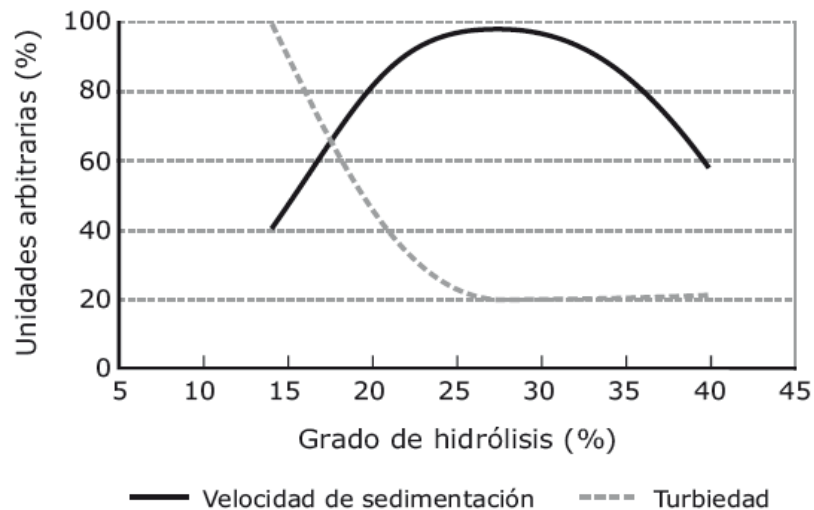


Gráfico 3: Influencia del grado de hidrólisis del floculante en la velocidad de sedimentación del jugo claro y en la turbiedad (Gil, N. 2008)

3.5.2. Tipos de Floculantes

Los floculantes usados comúnmente para la clarificación de jugo, son compuestos de poliacrilamida parcialmente hidrolizados, los cuales son del tipo aniónico. Los floculantes de tipo catiónico tienen una aplicación mucho más limitada, principalmente como decolorantes en procesos de flotación de jarabe/meladura (sirope).

3.5.2.1. Floculantes Aniónicos

Considerando los floculantes de tipo aniónico, los polímeros de poliacrilamida parcialmente hidrolizados tienen una unidad que se repite y forma una cadena larga de muy elevado peso molecular (mayor que 10^7).

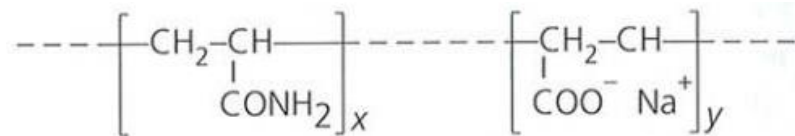


Figura 9: Composición del floculante (Rein P., 2012).

En la composición del floculante, enlaces ocasionales –COOH o COONa se presentan en la cadena en lugar de los enlaces –CONH₂. Esto es una medida del grado de hidrólisis del floculante a saber hidrólisis = $100 y/(x+y)$ en %, donde **y** es la fracción de enlaces del grupo –COOH (o –COONa), mientras que **x** es la fracción de enlaces –CONH₂. (Rein P., 2012).

3.5.2.2. *Floculantes Catiónicos*

Los floculantes catiónicos no han sido ampliamente utilizados para la clarificación de jugo, aunque se usan bastante en la reducción de color en procesos de fosfatación de meladura. Algunos cuerpos de color tienen cargas negativas (es decir aniónico).

El precipitante catiónico atrae al color aniónico y forma un escudo hidrofóbico alrededor del colorante.

Tabla 11: *Comparación de polímeros catiónicos y aniónicos*

Parámetros	Polímeros Catiónicos	Polímeros Aniónicos
Conc. Optima de Preparación	0.2%-0.3%	0.1%-0.2%
PH de la solución	PH<6	No hay restricción en el PH
Corrección del PH	Usar ácido sulfámico al 5%	-
Temperatura optima	Menor a 40°C	Menor a 60°C
Tiempo de maduración min.	1 hora	1 hora
Cloruros	Cortan la cadena del polímero	Cortan la cadena del polímero
Presencia de biofilm en la solución del polímero	Se puede usar butaraldehido al agua potable para preparar la solución	

Fuente: Proveedor Lipesa S.A.C.

3.5.3. **Color**

Índice de atenuación, determinado por absorción de luz bajo condiciones definidas. Generalmente se mide empleando el método ICUMSA a 420 nm, y se expresa en unidades ICUMSA o IU. **(Rein P., 2012).**

La cantidad de materia colorante en el jugo de la caña es muy pequeña y puede llegar al 17% del 1% de los no-azúcares. Las materias colorantes en la fabricación del azúcar pueden clasificarse de la forma siguiente:

a. En las partes verdes de la caña de azúcar están presentes los familiares pigmentos verdes y amarillos de las plantas: las clorofilas A y B, los carotenos, las xantofilas y a la antocianina (estos son compuestos rojo púrpura y café que contribuyen poco al color del azúcar y se hallan en cantidades infinitesimales). La mayor parte de estos pigmentos son destruidos o separados durante la clarificación y la ebullición, aunque se han hallado cantidades pequeñísimas de clorofila en los azúcares refinados. **(Eduardo Batule, 2004).**

b. Entre los materiales no-azúcares que desarrollan color están los **compuestos fenólicos, polifenólicos y flavonoides**, y son los principales contribuyentes al color del azúcar. Muchos de ellos tienen colores que varían del amarillo al café, y existen en la planta como compuestos incoloros que son oxidados a un estado coloreado en el guarapo, ya sea por la acción de enzimas u oxidación química.

Los ácidos fenólicos son los compuestos más abundantes y se hallan a niveles de 1-10 ppm en el azúcar crudo, de 1-2 ppm en el azúcar blanco directo, y menos de 1 ppm en el azúcar refino. **(Eduardo Batule, 2004).**

c. Los compuestos del caramelo (formados por la descomposición de la sacarosa y del azúcar invertido por la acción del calor). También en el proceso se forman la melanoidina (formada por reacción de los azúcares reductores con compuestos aminados) y dan un color oscuro y café, y a menudo proceden de compuestos con un peso molecular muy elevado. Cuando se calienta el azúcar a un pH ácido se forma el **Hidroximetilfurfural**, de por si incoloro, pero que se descompone rápidamente para formar un compuesto polímero de color oscuro. También están presentes los compuestos formados por la degradación de la fructosa en

condiciones básicas. Una serie de compuestos, incluyendo algunos identificados como colorantes o como componentes precursores de los colorantes han sido identificados como contribuyentes al sabor de los diversos productos del azúcar. Muchos de estos compuestos son volátiles y se hallan presentes en cantidades menores de 1 pm. Así mismo, se ha encontrado que el dimetilsulfuro contribuye un componente principal del sabor en las mieles finales, y el ácido acético de las mieles finales y el azúcar crudo. La mayor parte de estos compuestos proceden de la caña de azúcar. Algunos se producen por la actividad microbiana, otros por reacciones termoquímicas de los azúcares o los fenoles; por ejemplo: mediante la degradación de Strecker o la reacción de Maillard. **(Eduardo Batule, 2004).**

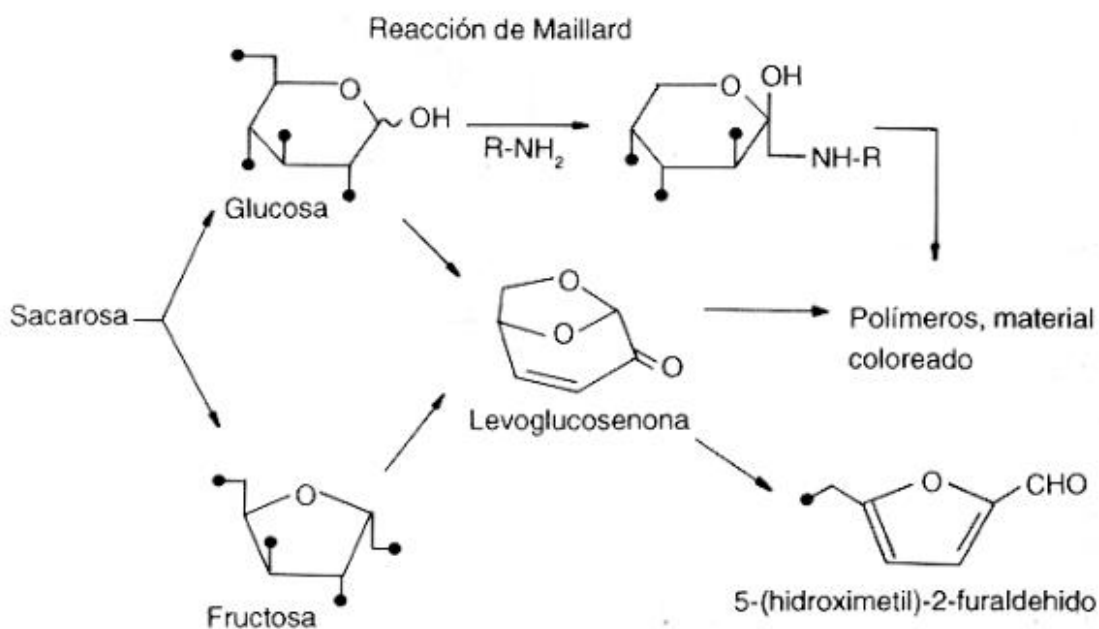


Figura 10: Posibles vías de la termólisis de la sacarosa y formación de melanoidinas durante el procesamiento de la caña de azúcar **(Shafizadek et al., 1979 citado por Eduardo Batule, 2004).**

3.5.4. Turbidez

Por definición, la determinación del color implica medir la absorción de la luz entrante mediante las sustancias (colorantes) presentes en la solución. Por consiguiente, la dispersión de la luz que entra se debe reducir al mínimo. Para cumplir con esta condición se recomienda que la solución de azúcar de color claro se filtre a través de filtros de membrana de 0.45 μm . La primera porción del filtrado se debe desechar en el caso de que esté turbia. El diseño del instrumento debe ser tal que reduzca al mínimo la inclusión de la luz que se dispersa hacia delante en la medición de la luz transmitida. Lo anterior se logra restringiendo el tamaño de la apertura receptora de manera que sólo dé cabida al royo restringido. **(Carlos M, 2005).**

3.6. Equipos para la clarificación de jugo

De los clarificadores que se mencionaran, la empresa Agroindustria San Jacinto posee dos, los cuales son el Clarificador rápido SRI y el Clarificador “RapiDorr”.

3.6.1. Clarificadores multibandeja

Antes del empleo de floculantes los clarificadores más populares fueron del tipo multibandeja, ej. Dorr, RapiDorr, ATV, Bach, Graver, etc. Generalmente los clarificadores multibandeja se dividen en varios compartimientos superpuestos, de manera que se incrementa el área de sedimentación. Los diseños Dorr emplearon hasta 5 bandejas alimentadas en el centro y con salida circunferencial, así como algunos alimentados circunferencialmente y con salida al centro. Los patrones de flujo eran complejos y era difícil remover los lodos sin que se presentara reincorporación de lodo. La extracción de lodos se efectuaba por separado para cada bandeja (Dorr, ATV) o desde un cono profundo al fondo del clarificador (Bach, Graver).

El clarificador Dorr, que fue el diseño más ampliamente utilizado, es un tanque cilíndrico grande provisto con un eje central que rota muy lentamente ($12h^{-1}$) y soporta varios brazos con paletas metálicas raspadoras que barren lentamente el fondo cada compartimiento o bandeja. El jugo a ser clarificado entra tangencialmente a una “cámara de floculación” en la parte superior del clarificador, donde una parte del lodo flota hasta la superficie como espuma (escoria); un raspador especial permite eliminar esta espuma empujándola hasta un pequeño canal lateral de descarga.

Como se muestra en la Figura 11, un tubo central conecta la parte superior con todos los compartimientos. El jugo entra desde el tubo central a los compartimientos pasando a través del espacio anular donde descenden los lodos. El lodo que se deposita sobre cada bandeja se barre lentamente hacia el centro, donde cae por espacios anulares hasta el fondo del compartimiento descendiendo a lo largo del exterior del tubo central. El jugo clarificado es extraído individualmente desde cada compartimiento mediante un anillo de tubos en la parte superior cerca a la pared del clarificador, para luego ser llevado a una “caja de derrame o caja de corrida de jugo claro” en la cual la salida de cada compartimiento puede ser regulada utilizando una “manga ajustable”; deslizando un tubo sobre la punta de salida de la tubería, con lo cual se ajusta el nivel de descarga con respecto al nivel de jugo en el clarificador.

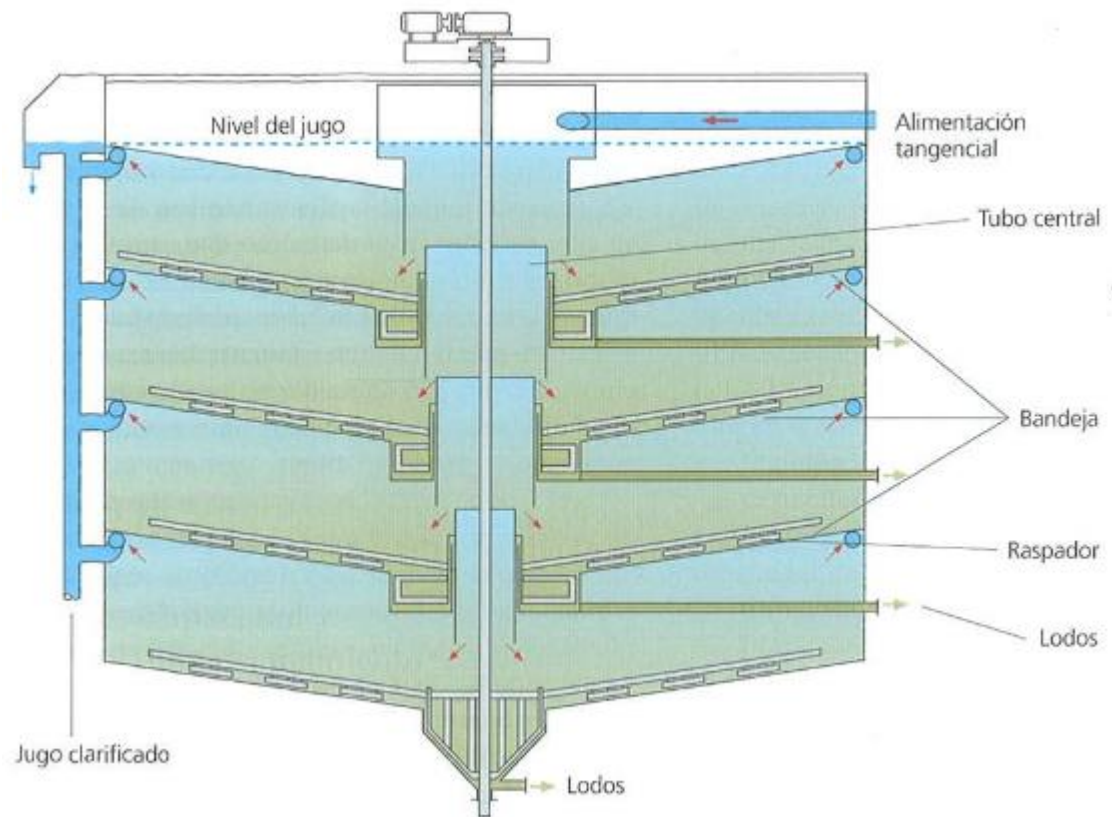


Figura 11: Clarificador Dorr "ATV" (Rein P., 2012).

Los lodos se extraen desde el fondo. Dado que las viscosidades de los lodos pueden variar, el método de remoción preferido es mediante el uso de una bomba de diafragma con recorrido corto y ajustable, la cual eleva los lodos hasta una "caja de lodos o cachaza" cercana a la "caja de derrame de jugo", desde la cual son enviados a la estación de filtros.

También se tiene el clarificador continuo RapiDorr, desarrollado desde 1955, tiene 4 compartimientos y consiste realmente en dos clarificadores superpuestos de 2 bandejas cada uno. Este diseño se ilustra en la Figura 12. En este clarificador se considera importante al área provista para el espesamiento de los lodos, que es en promedio $0,8\text{m}^2/(\text{tc.h})$.

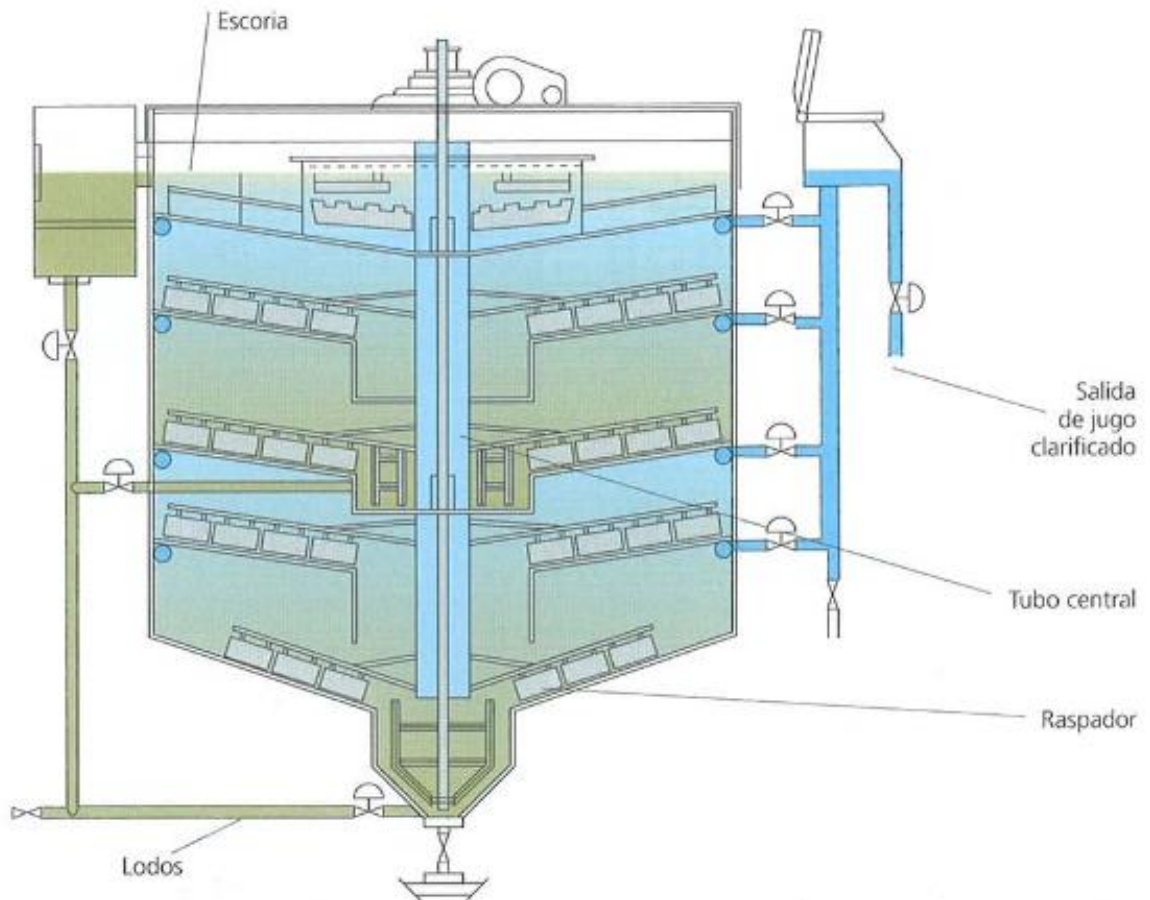


Figura 12: Clarificador "RapiDorr" (Dorr-Oliver) (Rein P., 2012).

3.6.2. Clarificadores rápidos

EL uso de clarificadores rápidos se ha hecho posible gracias al desarrollo y aplicación de aditivos floculante para el control y aceleración de la coagulación del lodo y su sedimentación. El clarificador rápido de una sola bandeja fue desarrollado inicialmente por el SRI (Instituto de Investigación de Azúcar, Australia), en los años 1970s y ha sido muy exitoso.

El diseño se enfoca en una entrada pasiva de la alimentación y un flujo vertical de jugo uniformemente dirigido hacia arriba, donde es recogido por desborde sobre canaletas recolectoras. La velocidad del

flujo hacia arriba debe ser siempre inferior que la velocidad inicial de sedimentación de los lodos (sin reducciones). Muchos intentos de copiar este diseño han sido efectuados (la mayoría denominados clarificadores de corto tiempo de residencia – SRT), pero en general estos no han podido seguir el paso del continuo mejoramiento del diseño original SRI. El esquema del clarificador SRI original (**Steindl 1995, citado por Rein P., 2012**) se ilustra en la Figura 13.

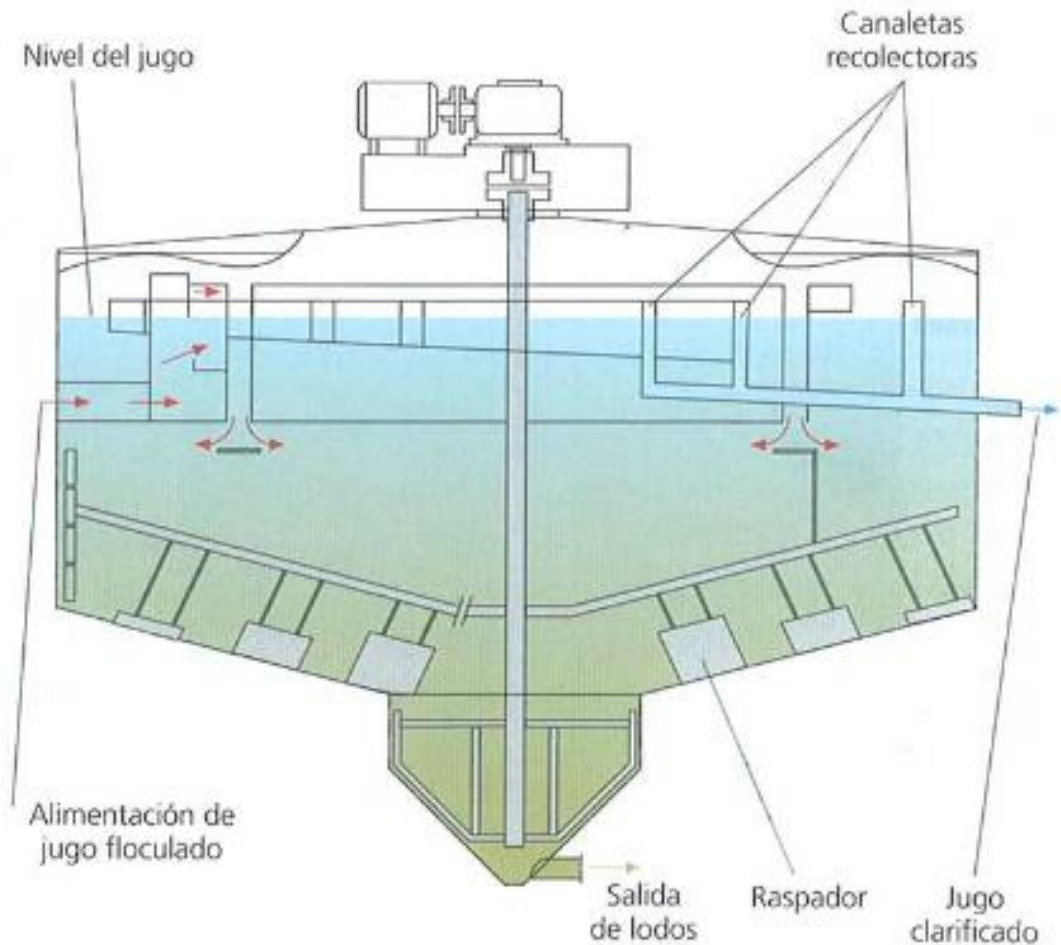


Figura 13: Clarificador rápido SRI (diseño original) (**Rein P., 2012**).

El clarificador SRI ha evolucionado durante décadas y ha sido diseñado para brindar condiciones óptimas para remover una máxima cantidad de impurezas del jugo y producir un jugo clarificado libre de sólidos suspendidos. El diseño es más simple y tiene costos considerablemente menores que los clarificadores tipo multibandeja de igual capacidad de procesamiento.

El jugo proviene del tanque flash entra a una cámara de alimentación y se divide en ambas direcciones sobre una bandeja anular alimentadora. El jugo desborda entonces sobre un tubo anular profundo de alimentación, al fondo del cual es deflectado lateralmente sobre el área de separación del clarificador. El jugo clarificado desborda sobre bandejas o canaletas anulares recolectoras localizadas adentro y afuera del sistema de alimentación.

Las ventajas del diseño SRI incluyen:

- Elevada capacidad por unidad de volumen instalado;
- Reducción del área transversal utilizada, con menores costos de construcción y mantenimiento;
- Sistema sencillo para remoción de lodos, fácil control del nivel de lodo, buena capacidad para espesar los lodos;
- Fácil remoción del jugo clarificado, mejor calidad del jugo clarificado;
- Bajo tiempo de retención (permitiendo reducir pérdidas, minimizar la caída de pH, reducir el consumo de cal y una menor formación de color);
- Puede ser suministrado para nuevas instalaciones de clarificadores o la conversión de clarificadores existentes SRI, SRT o multi-bandeja.

Los clarificadores modernos tipo SRI generalmente se diseñan para tiempos de residencia de 20-45 minutos, mientras que los anteriores diseños (Dorr, Graver, etc.) tienen tiempo de residencia de 2 1/2 a 3 horas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ambientes donde se desarrolló el estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el apoyo y colaboración de la empresa privada Agroindustria San Jacinto S.A.A.

- Agroindustria San Jacinto S.A.A. (Centro Poblado San Jacinto).
- Laboratorio de Proceso de Azúcar del Dpto. de Control de Calidad de la Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.
- Laboratorio de Maduración y Materia Prima del Dpto. de Control de Calidad de la Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

4.2. Materiales

4.2.1. Materia prima

El jugo encalado necesario para el proyecto de investigación fue adquirido del área de Elaboración del Ingenio “Agroindustria San Jacinto”, siendo más específico en el Tanque de Recepción de Jugo Encalado, proveniente del área de Trapiche, un día normal de molienda, sin paradas; tomando un jugo de las características requeridas, PH 7.4 – 8.4 para obtener un jugo clarificado de calidad aceptable; es decir con un adecuado color y turbidez exigido por dicha empresa.

A continuación, se presenta información sobre la muestra experimental en proceso continuo, la cual fue extraída del Sistema SAP, proporcionado por el Departamento de Control de Calidad de la Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

Laboratorio de Maduración y Materia Prima

Campo: PUNGURI

Edad: 13.5 MESES

Variedad: PCG12 – 745

Tabla 12: *Análisis fisicoquímicos de la materia prima*

CUARTEL	FIBRA% CAÑA	BRIX% CAÑA	PUREZA% CAÑA	RED.% CAÑA	%M. EXTRAÑA
CAT 820- 050	15.487- 16.544	15.428- 15.97	83.053- 83.332	0.431- 0.474	3.776-5.953

Fuente: Agroindustrias San Jacinto S.A.

Tabla 13: *Análisis fisicoquímicos del jugo de caña después de su extracción*

ETAPAS	°Brix	Sacarosa	Pureza	Reductores
Primer Jugo	16.79-18.21	14.15-15.95	84.29-87.56	0.48-0.49
Jugo Mezclado	12.58-15.89	10.26-13.59	81.56-85.53	0.46-0.45

Fuente: Agroindustrias San Jacinto S.A.

4.2.2. Floculantes

- Lipesa 1538
- Bozefloc A-61 BT

4.2.3. Reactivos e insumos

- Soluciones Buffer estándar (pH 4, pH 7, pH 10). Marca: Merck KGaA, Alemania.
- Solución de Ácido Clorhídrico 0.1 M. (HCl al 36.5 – 38.0%)
- Solución de Hidróxido de Sodio 0.1 M. (NaOH al 98.6 %)
- Agua destilada

4.2.4. Materiales complementarios

- Matraz Erlenmeyer de 500 ml y 1000 ml.
- Pipetas graduadas de 5 ml y 10 ml.
- Pipeta volumétrica de 100 ml.
- Vaso de precipitado o Beaker de 20 ml, 500 ml y 1000 ml.
- Varilla de vidrio.
- Probetas graduadas de 50 ml, 100 ml y 500 ml.
- Recipiente de acero inoxidable de 500 ml.
- Agitador de acero inoxidable para probeta, 50 cm.
- Bombilla de Caucho para pipetas.
- Filtros de Membrana con tamaño de poro de $0.45\mu m$.
- Papel de filtro, Whatman N° 3.
- Celdas de absorción, 1 cm.
- Espátula, 21 cm.
- Jarras plásticas de 1.5 Lt.

4.2.5. Equipos e instrumentos

- **Multiparámetro digital:** Marca: HACH / Modelo: HQD40 / Rango pH: 2 – 14 / Rango Cond: 0.01 $\mu\text{s}/\text{cm}$ – 200 ms/cm / U.S.A.



Figura 14: Multiparámetro digital, marca: HACH / modelo: HQD40

- **Refractómetro digital:** Marca: ATAGO/ Modelo:RX5000 / Rango: 0 – 95% Bx, 5°C – 60°C/Japón.



Figura 15: Refractómetro digital, marca: ATAGO/Modelo: RX5000

- **Espectrofotómetro digital:** Marca: THERMO SCIENTIFIC/Modelo: Genesis 10S VIS/Rango: 325 – 11000 nm, 0 – 3.0 A a 340 nm./ U.S.A.



Figura 16: Espectrofotómetro digital, Marca: THERMO SCIENTIFIC/Modelo: Genesis 10S VIS

- **Plancha de calentamiento múltiple con agitación magnética:** Marca: THERMO SCIENTIFIC/ Modelo: AM4/ Rango: 50°C - 370°C /50 - 1200 rpm / Italia.



Figura 17: Plancha de calentamiento múltiple con agitación magnética/modelo: AM4

- **Balanza de precisión. Marca: SARTORIUS / Modelo: TE3102S /**
Rango: Max. 3100 g/ Alemania.



Figura 18: Balanza de precisión,
marca: SARTORIUS / Modelo:
TE3102S

- **Bomba de vacío: Marca: PALL / Modelo: DOA – P730 – BN /**
Rango: 60 PSI – 24”Hg / U.S.A.



Figura 19: Bomba de vacío, Marca: PALL /
Modelo: DOA – P730 – BN

- **Cocina eléctrica.**



Figura 20: Cocina eléctrica

4.3. Métodos

4.3.1. Análisis fisicoquímicos

4.3.1.1. *Determinación de pH*

- Colocar aproximadamente 200 mL. de la muestra en el beaker.
- Llevar la muestra a temperatura ambiente.
Homogenizar.
- Enjuagar el electrodo con la solución a analizar.
- Introducir el electrodo en la solución a analizar haciendo movimientos circulares.
- El bulbo del electrodo debe quedar completamente cubierto con la solución.
- Esperar hasta que se estabilice la lectura en la pantalla del pH-metro.
- Leer el valor arrojado.
- Lavar el electrodo con agua destilada. Es más recomendable dejar el electrodo en agua potable o en una solución igual a la que éste contiene.
- Revisar diariamente y verificar el pH-metro haciendo uso de una solución buffer estándar.

*El pH-metro es verificado y/o ajustado diariamente para asegurar mediciones correctas.

4.3.1.2. *Determinación de Grados Brix*

- Tomar aproximadamente 100 mL de muestra y uniformizarla.
- Filtrar, descartando los primeros 10 mL del filtrado
- Se coloca en la unidad óptica del refractómetro agua destilada para la verificación del CERO en la escala del brix.

- Con la ayuda del gotero adicionar en la unidad óptica del refractómetro el jugo filtrado necesario para hacer la determinación, esperar a que la lectura se estabilice.
- Leer el % del Brix que indica del refractómetro y la temperatura si el equipo no tuviera corrección por temperatura.

4.3.1.3. *Determinación de Color y Turbidez*

Preparación de la Muestra

- Homogenizar la muestra de jugo.
- Medir el Brix de la muestra original.
- Preparar 50 mL de solución de 5 Brix.
- Calcular la cantidad de material a ser utilizado:
Volumen (Sol. 5 brix)= 250/ brix corregido de muestra original.
- Llevar la cantidad calculada con la pipeta a la probeta y completar con agua hasta 50 mL.
- Transferir los 50 mL de solución a un vaso de precipitación. Homogenizar la solución.

Descripción del Método

- Limpiar y secar el electrodo de un medidor de pH, correctamente calibrado y sumergirlo en la solución preparada. Ajustar la solución a pH 7.0 ± 0.1 añadiendo ácido clorhídrico 0.1 M o solución de hidróxido de sodio 0.1 M.
- Llevar a Cero el refractómetro con agua destilada.
- Con el gotero adicionar en la unidad óptica del refractómetro una porción de la solución neutralizada, esperar a que la lectura se estabilice.

- Filtrar la solución neutralizada a través de la membrana de 0.45 μm , considerar descartar los primeros 5 ml del filtrado.
- Ajustar el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm, llenar la celda y ajustar a cero con agua destilada.
- Llenar otra celda con la solución, considerar el enjuague de la celda cada vez que se mida otra solución y determinar la absorbancia de la solución sin filtrar y de la solución filtrada.

Calculo.

- **Color:**

Se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Color ICUMSA} = \frac{A * 10^8}{b * {}^\circ\text{Bx} * m_w/V}$$

Donde:

A: Lectura de Absorbancia

b: Longitud de celda (1 cm)

${}^\circ\text{Bx}$: Brix corregido

m_w/V : peso con respecto al aire por unidad de volumen, Kg/cm^3 (Ver en el anexo los valores de m_w/V)

- **Turbidez:**

Se calcula el color expresado en unidades IU tanto para la muestra sin filtrar como para la muestra filtrada. La diferencia atribuye a turbidez y se reporta como la medida de turbidez relativa.

$$\text{Turbidez} = \text{Color (solución sin filtrar)} - \text{Color (solución filtrada)}$$

La turbidez se expresa en unidades ICUMSA (IU).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(\text{turbidezjugoencalado} - \text{turbidezjugoclara})}{\text{turbidezjugoencalado}} \times 100$$

4.3.2. Proceso para la preparación de la solución madre

- Tomar un vaso de precipitación de 1 litro y adicionar 500 ml de agua destilada.
- Llevar a un pH = 8 – 8.5 agregando hidróxido de sodio.
- Calentar a una temperatura entre 40 – 50°C y agitar durante 10 min. Aproximadamente.
- Agregar 0.35 gr de floculante para obtener una concentración de 700 ppm en la solución madre.
- Dejar madurar por un tiempo de 4.0 horas con agitación constante.



Figura 22: Llevando el agua destilada a un pH



Figura 21: Pesar 35 gr. de cada floculante



Figura 24: Maduración por 4 hrs. en agitación constante.



Figura 23: Agregando los 35 gr. de floculante.

4.3.3. Preparación de la muestra y adición de la solución madre

- Tomar una muestra de 5 litros de Jugo encalado con las condiciones normales de proceso. Analizar al instante Ph, Brix, color y turbidez.
- Tomar una muestra de 500 ml y llevarla a ebullición.
- En una probeta de 500 ml agregar el jugo caliente y adicionar los ppm (3, 6 y 9 ppm) de la solución de floculante a evaluar.
- Mezclar con el agitador sin airear violentamente la muestra para evitar flotación de flóculos.
- Anotar el volumen inicial y hacer lecturas de sedimentación de cachaza siguiendo un cuadro de tiempos con el cronómetro.

30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
seg	seg	seg	seg	seg	seg	seg	seg	seg	seg

- Recolectar con una pipeta el jugo claro de la probeta y hacer lectura de pH, brix, color y turbidez.
- Interpretación de resultados

Nota: La metodología descrita es según los procedimientos del proveedor LIPESA y de la empresa CASA GRANDE S.A.A.



Figura 25: Calentando el jugo mezclado hasta ebullición.



Figura 26: Agregando el jugo caliente a la probeta de 500 ml



Figura 27: Agregando las dosis de los floculantes (3, 6 y 9 ppm).

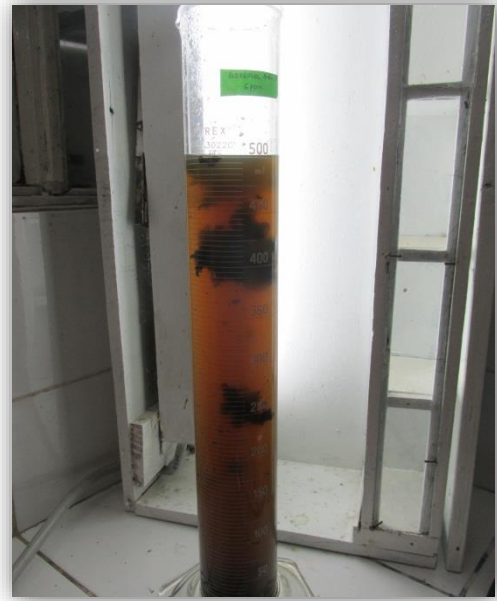


Figura 28: Observando la clarificación del jugo.



Figura 29: Muestras de jugo clarificado después de la sedimentación.



Figura 30: Recolectando el jugo clarificado.



Figura 32: Lectura del pH.



Figura 31: Lectura de los °Brix.



Figura 33: Lectura de la absorbancia en determinación de color y turbidez.

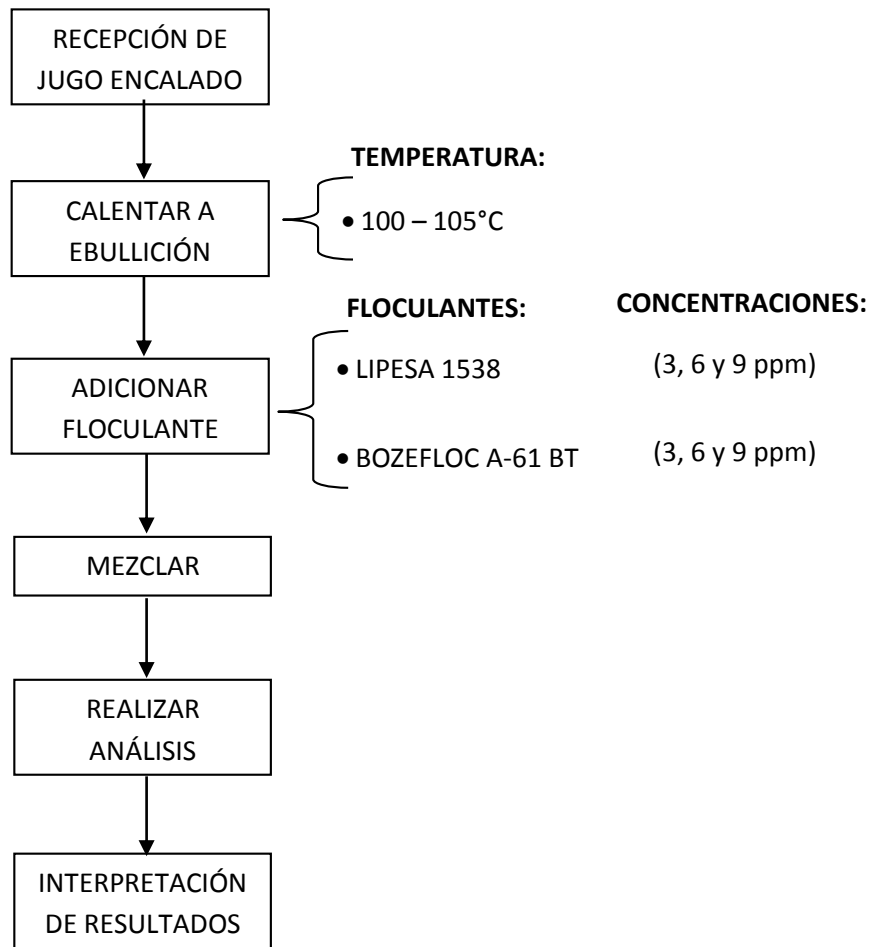


Figura 34: Diagrama de flujo para la evaluación experimental de los flocculantes.

4.4. Diseño Experimental

El diseño estadístico que se empleó para evaluar el efecto de la concentración de dos tipos de floculantes LIPEZA 1538 y BOZEFLOC A-61 BT en la turbidez y el color del jugo clarificado, es la metodología de Diseño Factorial 2x3 en un DCA, es decir 6 tratamientos con 3 repeticiones para cada uno, siendo un total de 18 experimentos.

Los resultados fueron evaluados estadísticamente con el software STATGRAPHICS Centurion a fin de determinar las diferencias significativas entre ellas.

Tabla 14: *Diseño Factorial 2x3 en un DCA.*

CONCENTRACIÓN	FLOCULANTE	
	LIPESA 1538	BOZEFLOC A-61 BT
3 ppm	Y_{111}	Y_{211}
	Y_{112}	Y_{212}
	Y_{113}	Y_{213}
6 ppm	Y_{121}	Y_{221}
	Y_{122}	Y_{222}
	Y_{123}	Y_{223}
9 ppm	Y_{131}	Y_{231}
	Y_{132}	Y_{232}
	Y_{133}	Y_{233}

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Condiciones del jugo encalado y de la solución madre

A continuación, se muestra en las tablas las características promedio del jugo encalado que se utilizó para la investigación, así como también las condiciones de la solución madre para la aplicación de los tratamientos. Dentro de las características más importantes del jugo mezclado se analizó el pH, su temperatura, °brix, fosfato, turbidez y color.

Tabla 15: *Parámetros fisicoquímicos del jugo encalado.*

Jugo encalado	
Variabes	Valor
pH del JE	8 ± 0.05
Temperatura (°C)	85 °C ± 0.02
°Brix	14.19 ± 0.05
Fosfato (ppm)	390 ± 2.53
Turbidez (UI)	44475.88 ± 25.03
Color (UI)	52978.90 ± 21.20

* Media de dos repeticiones

Tabla 16: *Parámetros fisicoquímicos de la solución madre*

Solución madre	
Variabes	Valor
pH	8.20 ± 0.05
Temperatura (°C)	40-45 °C
Tiempo de maduración	4 hrs.

* Media de dos repeticiones

De acuerdo a **Rein P., (2012)**, el pH del jugo encalado tiene que estar en un rango de 7.2 – 8.3, este valor es ajustado agregando al jugo mezclado sacarato de calcio, en este sentido el pH del jugo encalado con el que se realizó las pruebas experimentales se ajustó a un pH de 8.

Eduardo Batule (2004), indica que la observación más importante para la clarificación es que la sacarosa es invertida en glucosa y fructosa a una acidez alta, las mejores condiciones para lograr una inversión mínima son a un pH cercano a 7. (pag. 14)

Tal como se observa la temperatura del jugo encalado es de 85°C, según **Eduardo Batule (2004)**, al realizarse un encalado en caliente, ciertos coloides como la albúmina y la sílice hidratada precipitan, además conlleva a ciertas ventajas como: mayor velocidad de sedimentación, mayor eliminación de fosfatos, menor turbidez de jugo claro, menor volumen de cachaza y disminución de color del jugo claro. (pag 19)

Los sólidos solubles del jugo encalado dieron un valor de 14.19 °Brix. **Clarke et al., 1986a**, nos dice que los sólidos solubles (°Brix) del jugo de caña varía entre 10% - 16%, este parámetro depende mucho de la variedad, las condiciones ambientales y del sistema de manejo. (**Larrahondo, J. 1995.**)

El jugo encalado tuvo una turbidez de 44475.88 UI, se tiene una elevada turbidez debido a que el jugo proveniente de la extracción contiene muchos componentes como: Sacarosa, azúcares reductores, monosacáridos, polisacáridos (dextranas, gomas, almidón), proteínas, compuestos de amino-nitrógeno; ácidos orgánicos (aconítico, málico, cítrico), sales de ácidos inorgánicos (KCl, CaSO₄), materiales insolubles como (ceras, grasas, bagacillo, suelo, arena y partículas de arcilla). (**Doherty y Edye 1999**).

EL jugo encalado presento un valor del color de 52978.90 UI, este valor elevado está relacionado con una combinación de cal, bagacillo, calor y el contenido de insolubles (**Eduardo Batule, 2004**). Por otro lado, **Godshall (1996)**, según citado por **B. Silvia Zossi, Gerónimo J. Cárdenas, Natalia Sorol y Marcos Sastre (2010)**, menciona que los principales compuestos responsables del color son tres pigmentos: clorofila, antocianos y flavonoides. Tiene además otros constituyentes que, a pesar de no ser

coloreados, son precursores de color, tales como compuestos fenólicos y derivados de los ácidos benzoico y cinámico.

El pH para la preparación de la solución madre va en un rango de la zona neutra a la alcalina, como consecuencia de la disociación de los iones de CCO^- de su estructura en un medio donde existan iones OH^- , generalmente los valores de pH van en un rango de 8.0 – 9.5, valores de pH totalmente diferentes actuarán como una perturbación externa sobre la solución floculante y es posible que la cadena del polímero se rompa disminuyendo su calidad (**Marín L., 2012**). Por lo tanto, el pH=8.2 de la solución madre con la que se trabajó se ajusta a las condiciones óptimas para una buena clarificación.

La temperatura de preparación de la solución madre se mantuvo en un rango de 40 – 45°C, **Peter Rein, 2012**, nos indica que debe prepararse el floculante a temperaturas menores a 50°C para facilitar la disolución del polvo en el agua, disminuir el tiempo que tarda en mezclarse y resulte una mezcla más homogénea, temperaturas más elevadas puede debilitar las cadenas de polímero, obteniendo un floculante de baja calidad.

La solución madre se dejó madurar por un tiempo de maduración de 4 horas, ya que **Laura M., 2012**, concluyó en su investigación que el tiempo para que la solución madre logre una maduración adecuada es de 3 a 4 horas, de esta manera se logra que las cadenas de polímero se encuentren totalmente estables y activas.

5.2. Influencia del tipo de floculante y su concentración sobre el color

La tabla 17, presenta los resultados promedio de la influencia que tiene la interacción del tipo de floculante con sus diferentes concentraciones, sobre el parámetro color del jugo clarificado.

Tabla 17: *Análisis de color del jugo clarificado*

Efecto sobre el color		
Tipo de floculante	Concentración (ppm)	Color (UI)
Lipesa 1538	3	10111.63 ± 595.96
	6	9997.83 ± 413.72
	9	10114.83 ± 714.71
Bozefloc A-61 BT	3	10522.23 ± 212.84
	6	10816.26 ± 132.69
	9	10385.88 ± 371.41

* Media de dos repeticiones

En la tabla 17, se observa una reducción notable en el color del jugo clarificado para todos los tratamientos, siendo el mejor resultado para el floculante Lipesa 1538 con una concentración de 6 ppm, dando un valor de 9997.83 UI para el jugo clarificado. Este resultado difiere de lo reportado por **Laura M. 2012**, quien evaluó las condiciones apropiadas de preparación del floculante Lipesa 1521 para el proceso de clarificación de jugo en la Planta Riopaila, obteniendo el mejor resultado de color (12471.20 UI) con una preparación de floculante al 0.1%, T = 55°C, pH = 9.5 y una dosificación de 8 ppm; por otro lado **Peter Rein (2012)**, menciona que los aminoácidos a valores de pH elevados pueden reaccionar con los azúcares reductores generando incrementos de color, por tal motivo nuestros resultados dieron valores de color más bajos, dado que nuestras condiciones de trabajo se realizaron a pH más bajos (pH=8 de JE y pH=8.2 de SM).

Tabla 18: Análisis de Varianza para Color (ANOVA)

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tipo de floculante	1.125	1	1.12512E6	5.45	0.0377
B: Concentración de Floculante	74206.6	2	37103.3	0.18	0.8376
INTERACCIONES					
AB	242705.	2	121352.	0.59	0.5706
RESIDUOS	2.476	12	206333.		
TOTAL (CORREGIDO)	3.918	17			

Analizando los efectos de cada factor, se encuentra que el factor que tiene un efecto significativo sobre la respuesta al color del jugo clarificado es el tipo de floculante ($P < 0.05$). Para el resto de las variables no hay diferencias significativas en los resultados. Los efectos se ordenan en mayor a menor en el gráfico 4.

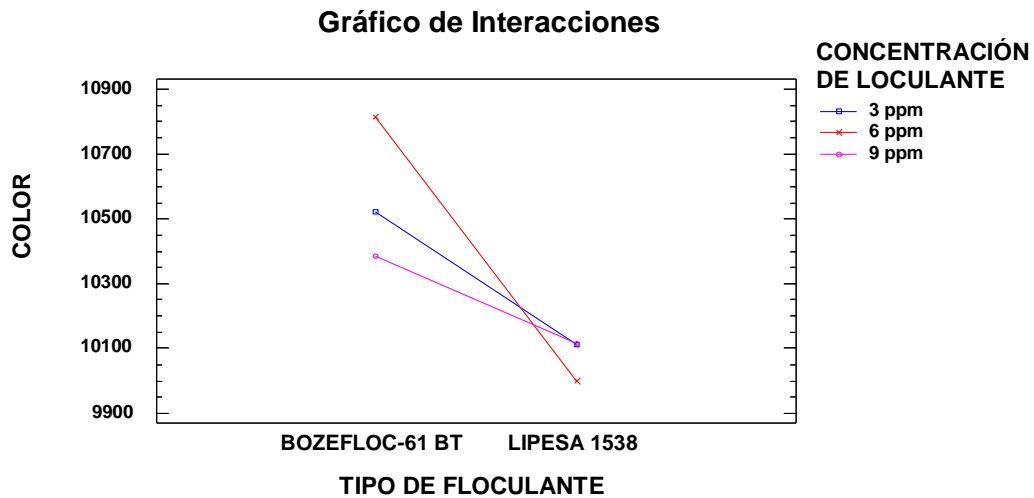


Gráfico 4: Gráfico de interacciones con respecto al color.

Según el gráfico adjunto se puede observar que el tipo de floculante tiene gran incidencia en el color del jugo clarificado, siendo el floculante Lipesa 1538, el que obtuvo mejores resultados en comparación con el floculante Bozefloc A- 61 BT.

5.3. Influencia del tipo de floculante y su concentración sobre la turbidez

En el siguiente cuadro se muestran los resultados que tienen la interacción de los tipos de floculantes y sus diferentes concentraciones de dosificación sobre la turbidez del jugo clarificado.

Tabla 19: *Análisis de la turbidez del jugo clarificado*

Efecto sobre la turbidez		
Tipo de floculante	Concentración	Turbidez
Lipesa 1538	3	3904.14 ± 71.22
	6	3708.7 ± 68.00
	9	3826.18 ± 105.34
Bozefloc A-61 BT	3	3641.17 ± 25.20
	6	3483.44 ± 156.23
	9	3451.03 ± 74.84

* Media de dos repeticiones

En tabla 19, se aprecia que los resultados de turbidez para todos los tratamientos dieron valores dentro de lo esperado (3500UI – 4000UI), incluso dos resultados dieron valores menores a 3500UI, siendo el mejor de todos 3451.03UI para el floculante Bozefloc A-61 BT a una concentración de 9ppm. Estos resultados también se encuentran dentro de lo requerido por Agroindustrias San Jacinto, ya que, para obtener un azúcar de calidad, el máximo valor de la turbidez tiene que ser de 5000UI (Ver anexo 5).

Marín L. (2012), evaluando las dosis adecuadas del floculante Lipesa 1521 a las concentraciones de 2 ppm, 5 ppm y 8 ppm, encontró que es más apropiado trabajar con una dosificación de 8 ppm, puesto que obtuvo una turbidez más baja (2737.90 UI) en comparación a las otras dosis. Nuestros valores de turbidez, aun estando dentro de lo adecuado, difieren mucho a este resultado, esto puede deberse a muchos factores, como puede ser las variedades de caña, condiciones de locales, y los procesos previos a la clarificación, dado que las condiciones de floculación varían de un lugar a otro (**COPERSUCAR, 1987**), pero si concluye que a rangos de

concentraciones de 6 – 9 ppm se obtiene mejores resultados en la turbidez del jugo clarificado.

Esta diferencia de turbidez puede deberse a la concentración de fosfatos con la que proviene el jugo de caña, puesto que según **Honig (1960), Meade y Chen (1977), mencionados por Larrahondo J. (1995)**, indican que para realizar una buena floculación las concentraciones de fosfatos deben estar entre 300 y 600 ppm, nuestro jugo encalado para el tratamiento tuvo 390 ppm de fosfatos, mientras que **Marín L. (2012)** no reporto este valor en su jugo encalado, pero pudo ser mayor para lograr una mejor remoción impurezas.

Con el proceso de clarificación se pretende formar flóculos que se encarguen de atrapar todo el material suspendido, produciendo un jugo claro de alta calidad con valores bajos de turbiedad y contenido de iones calcio disueltos, que tenga un pH adecuado que logre disminuir la inversión de la sacarosa en los procesos siguientes de extracción (**Romero J. y Torres J., 1996**).

Tabla 20: *Análisis de varianza para turbidez (ANOVA)*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo de floculante	372698.	1	372698.	43.48	0.0000
B:Concentracion de Floculante	101926.	2	50963.0	5.94	0.0161
INTERACCIONES					
AB	18238.0	2	9118.98	1.06	0.3756
RESIDUOS	102872.	12	8572.65		
TOTAL (CORREGIDO)	595734.	17			

Analizando los efectos de cada factor, encontramos que los factores que tienen un efecto significativo sobre la respuesta turbidez del jugo clarificado es el tipo de floculante ($P < 0.05$) y concentración de floculante ($P > 0.05$). Para el resto de las variables no hay diferencias significativas en los resultados. Los efectos se ordenan en mayor a menor en el gráfico 6.

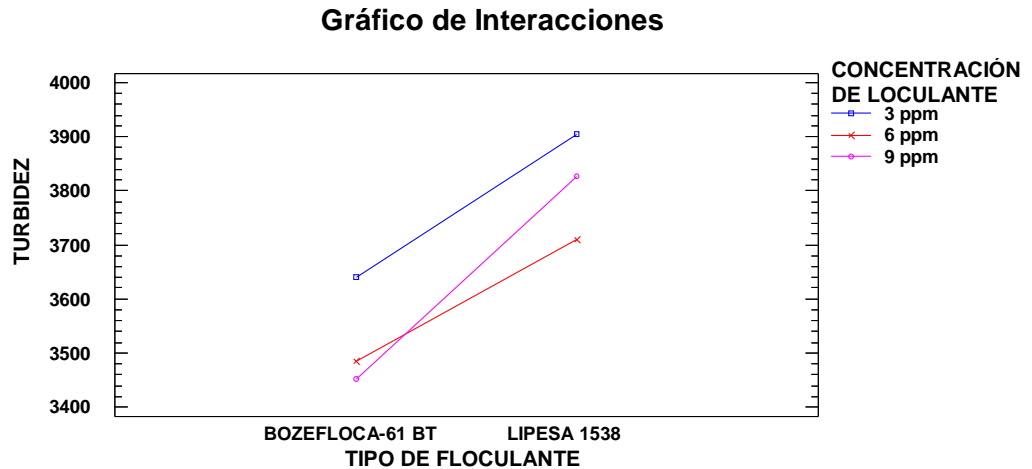


Gráfico 5: Gráfico de interacciones para la turbidez.

Del gráfico de interacciones se puede deducir que el tipo de floculante, así como sus concentraciones de dosificación afectan significativamente en la disminución de la turbidez del jugo clarificado, obteniéndose valores más bajos con el floculante Bozefloc A-61 BT.

5.4. Influencia del tipo de floculante y su concentración sobre la velocidad de sedimentación

La siguiente tabla muestra los resultados promedio de la evaluación de la velocidad de sedimentación para los floculantes Lipesa 1538 y Bozefloc A-61 BT a sus diferentes concentraciones.

Tabla 21: Resultado de la velocidad de sedimentación (ml/s)

Tiempo(s)	Lipesa 1538			Bozefloc A-61 BT		
	3 ppm V(ml)	6 ppm V(ml)	9 ppm V(ml)	3 ppm V(ml)	6 ppm V(ml)	9 ppm V(ml)
0	500.00 ± 0.00	500.00 ± 0.00	500.00 ± 0.00	500.00 ± 0.00	500.00 ± 0.00	500.00 ± 0.00
30	315.00 ± 8.66	283.33 ± 5.77	255.00 ± 8.66	336.67 ± 5.77	321.67 ± 2.89	290.00 ± 10.00
60	191.67 ± 7.64	173.33 ± 7.64	155.00 ± 5.00	238.33 ± 10.41	230.00 ± 13.23	193.33 ± 18.93
90	165.00 ± 8.66	150.00 ± 5.00	135.00 ± 13.23	201.67 ± 7.64	205.00 ± 8.66	170.00 ± 10.00
120	140.00 ± 0.00	126.67 ± 7.64	118.33 ± 10.41	178.33 ± 7.64	186.67 ± 5.77	148.33 ± 7.64
150	126.67 ± 2.89	113.33 ± 5.77	108.33 ± 5.77	155.00 ± 0.00	168.33 ± 7.64	135.00 ± 5.00
180	115.00 ± 5.00	103.33 ± 5.77	101.67 ± 2.89	141.67 ± 2.89	153.33 ± 7.64	125.00 ± 5.00
210	110.00 ± 5.00	98.33 ± 5.77	98.33 ± 2.89	135.00 ± 5.00	145.00 ± 5.00	118.33 ± 2.89
240	105.00 ± 5.00	95.00 ± 5.00	93.33 ± 2.89	130.00 ± 5.00	140.00 ± 5.00	113.33 ± 2.89
270	101.67 ± 2.89	91.67 ± 2.89	91.67 ± 2.89	128.33 ± 2.89	135.00 ± 5.00	108.33 ± 2.89
300	101.67 ± 2.89	91.67 ± 2.89	90.00 ± 0.00	125.00 ± 5.00	131.67 ± 2.89	105.00 ± 5.00
Velocidad (ml/s)	5.14	5.44	5.75	4.36	4.5	5.11
% Lodos	20.33	18.33	18.00	25.00	26.33	21.00

* Media de dos repeticiones

Se observa en la tabla 21, que el floculante Lipesa 1538, presento mayor velocidad de sedimentación, a una concentración de dosificación de 9 ppm, con 5.75 ml/s, siendo superior al floculante Bozefloc A-61 BT, quien presento su mayor velocidad de sedimentación con un valor de 5.11 ml/s a 9 ppm.

De los datos puede deducirse que a medida que la concentración del floculante aumenta, la velocidad de sedimentación también aumenta, sin embargo, en ocasiones no es prudente aumentar la dosificación de floculante, ya que, según la ley de Stokes, la velocidad de sedimentación es inversamente a la viscosidad del líquido, la cual aumenta en el jugo por la dosificación del floculante ocasionando que la sedimentación sea más lenta. Esto sucede en el estudio realizado por **Tock A. F. (1999)**, quien hizo pruebas con el floculante Separan AP30 a 3, 4, 5, 6, 7 y 8 ppm para determinar el tiempo de sedimentación y encontró que la velocidad de sedimentación iba aumentando hasta una dosificación de 6 ppm, pero a partir de este punto hasta los 8 ppm fue disminuyendo.

Con respecto a la compactación de los lodos, se obtiene mejores resultados también con el floculante Lipesa 1538, ya que presenta menor %lodos, lo cual indica una buena compactación de cachaza.

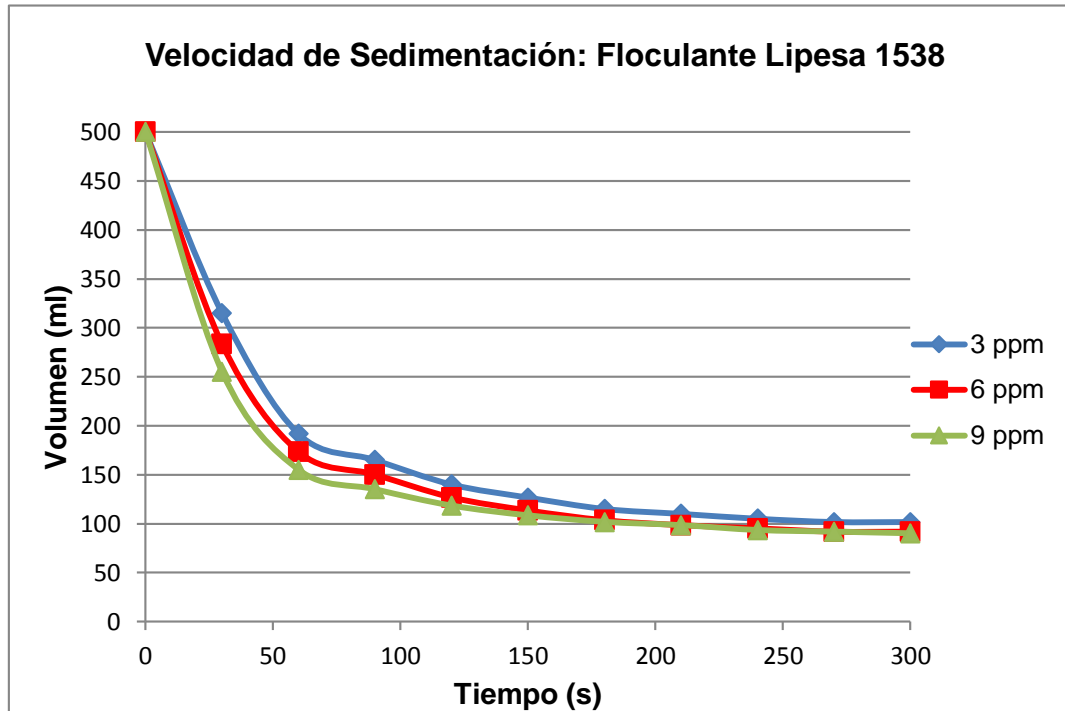


Gráfico 6: Perfil de la velocidad de sedimentación del floculante Lipesa 1538.

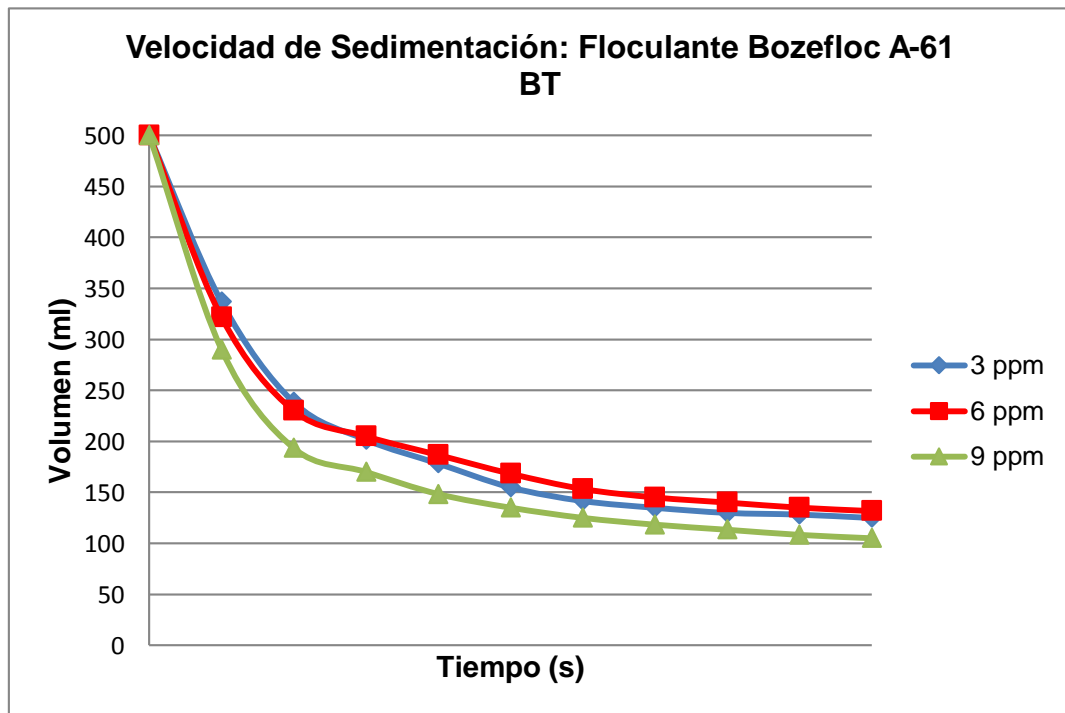


Gráfico 7: Perfil de la velocidad de sedimentación del floculante Bozefloc A-61 BT.

Los gráficos 8 y 9 nos presentan el comportamiento de la sedimentación, tanto para el floculante Lipesa 1538 como para el floculante Bozefloc A-61 BT. En los dos casos se observa que la mayor velocidad de sedimentación se obtiene a la concentración de dosificación de 9 ppm.

Es importante determinar la velocidad de sedimentación, ya que con esto podemos saber con qué floculante y a qué concentración se puede minimizar el tiempo de residencia en los clarificadores, evitando de esta manera las pérdidas de sacarosa, puesto que durante la clarificación el jugo está expuesto a temperaturas altas y una variación de pH, propenso a incrementar la inversión de la sacarosa. (Zepeda E., 2012)

Peter Rein (2012), también nos menciona que en los clarificadores ocurren pérdidas por inversión significativas que se incrementan a valores bajos de pH y con mayores tiempos de residencia.

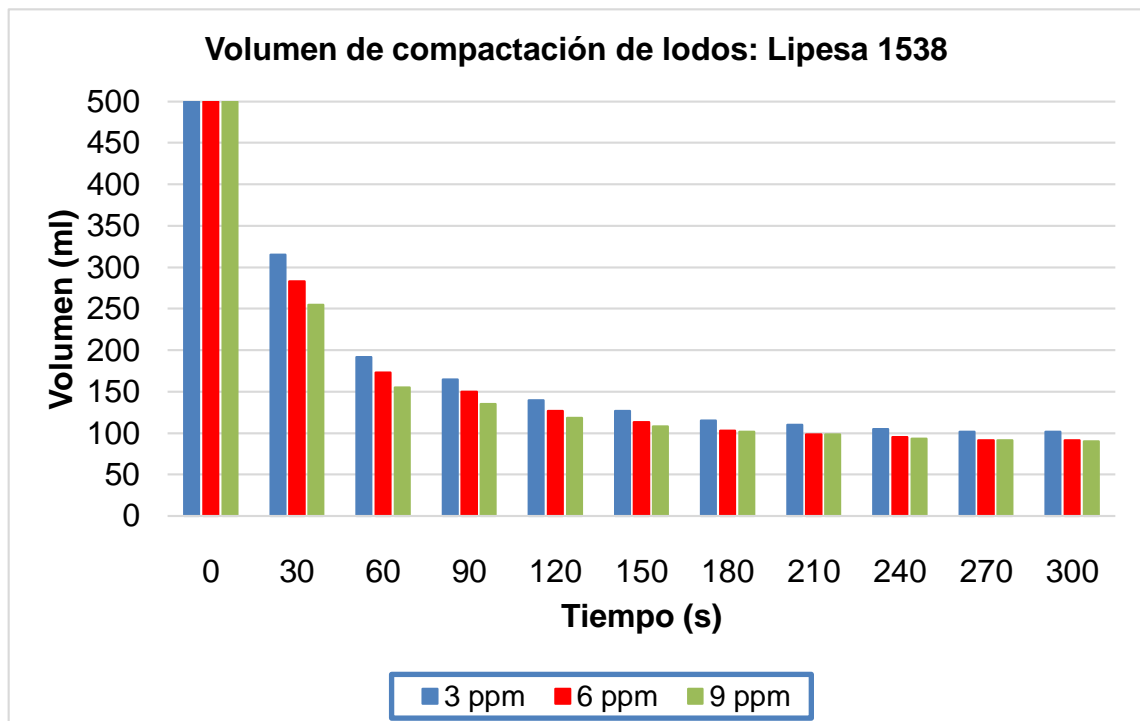


Gráfico 8: Perfil del volumen de compactación de lodos para el floculante Lipesa 1538.

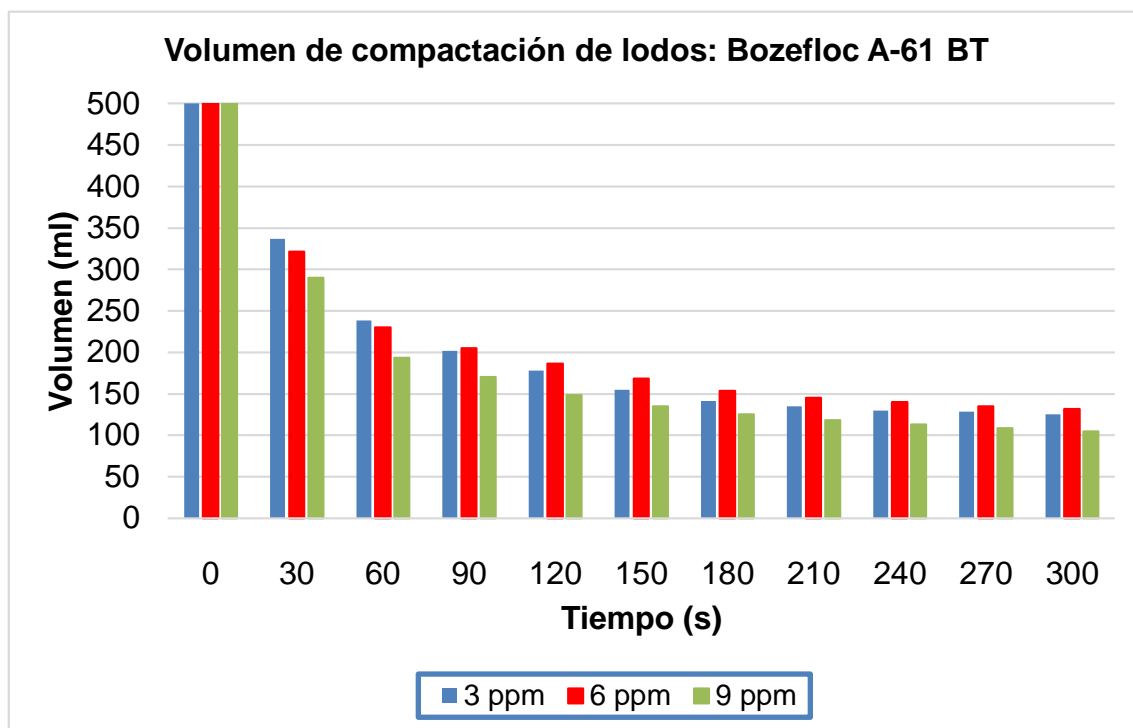


Gráfico 9: Perfil del volumen de compactación de lodos para el floculante Bozefloc A-61 BT.

En los gráficos 10 y 11, se observa cómo se va sedimentando las impurezas del jugo encalado en forma de lodos, durante los primeros 60 segundos hay una sedimentación acelerada, después la sedimentación viene a ser lenta hasta llegar a compactarse, en los dos casos se obtiene una mejor compactación de cachaza a una concentración de dosificación de 9 ppm.

5.5. Evaluación del porcentaje de remoción

La tabla 22, muestra el porcentaje de remoción de turbidez, que indica la cantidad de impurezas removidas durante la clarificación.

Tabla 22: Resultados del %remoción en el jugo clarificado

%Remoción en el jugo clarificado		
Tipo de floculante	Concentración	% Remoción
Lipesa 1538	3	90.53 ± 2.08
	6	91.01 ± 1.97
	9	90.73 ± 1.94
Bozefloc A-61 BT	3	91.96 ± 1.45
	6	92.34 ± 1.15
	9	92.35 ± 1.57

* Media de dos repeticiones

Como se puede apreciar en la tabla 23, para el floculante Lipesa 1538, el mayor %remoción que se obtuvo fue de 91.01% a una concentración de 6ppm, mientras que para el floculante Bozefloc A-61 BT los mayores %remoción que se obtuvieron fueron de 92.34% y 92.35% a una concentración de 6ppm y 9ppm respectivamente, no habiendo entre éstas dos últimas diferencias significativas, por lo que conviene utilizar una dosis de 6ppm para optimizar costos.

Marín L., 2012, reporto resultados mayores en el porcentaje de remoción, valores fueron de 95.39% (2 ppm), 96.63% (5 ppm) y 97.03% (8 ppm) usando como agente clarificante al floculante Lipesa 1521M.

Es de mucha importancia evaluar el %de remoción en el jugo clarificado, ya que es un indicador de la eficiencia de la clarificación del jugo (**Marín L., 2012**), que implican la cantidad de impurezas solubles e insolubles que han sido asentadas y removidas. Para tener una óptima clarificación, el % de remoción tiene que estar en el rango de 80 - 90%, en lo que va del año Agroindustrias San Jacinto obtiene un %remoción promedio de 89.68% obteniendo desde 87.95% hasta 90.37% de remoción; si bien es cierto tiene una eficiente remoción durante el clarificado, pero evaluando los resultados,

conviene trabajar con el floculante Bozefloc-61 BT a una concentración de 6ppm, ya que se obtendría un mayor %de remoción de lo que se obtiene actualmente.

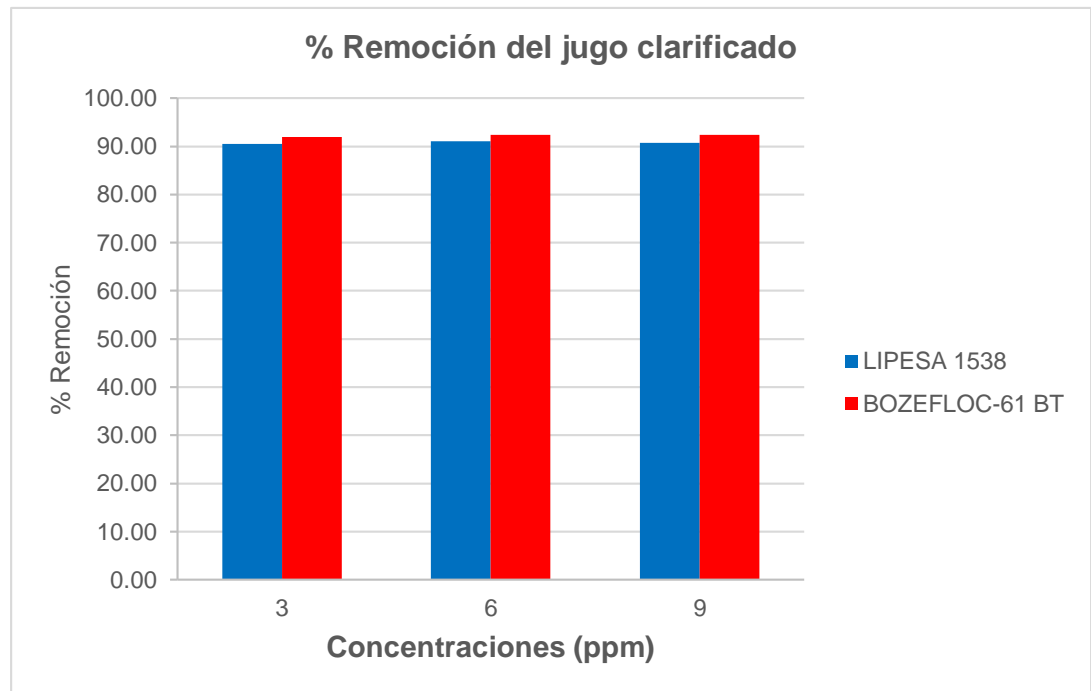


Gráfico 10: Porcentaje de remoción obtenido en el jugo clarificado.

En el gráfico 12, observamos el % remoción que se obtiene en el jugo clarificado, el cual indica que el floculante Bozefloc A-61 BT es más eficiente en la remoción de impurezas durante el proceso de clarificación de jugo, obteniendo la mayor remoción a una concentración de 6ppm y 9ppm, no habiendo diferencias significativas entre éstas dosis.

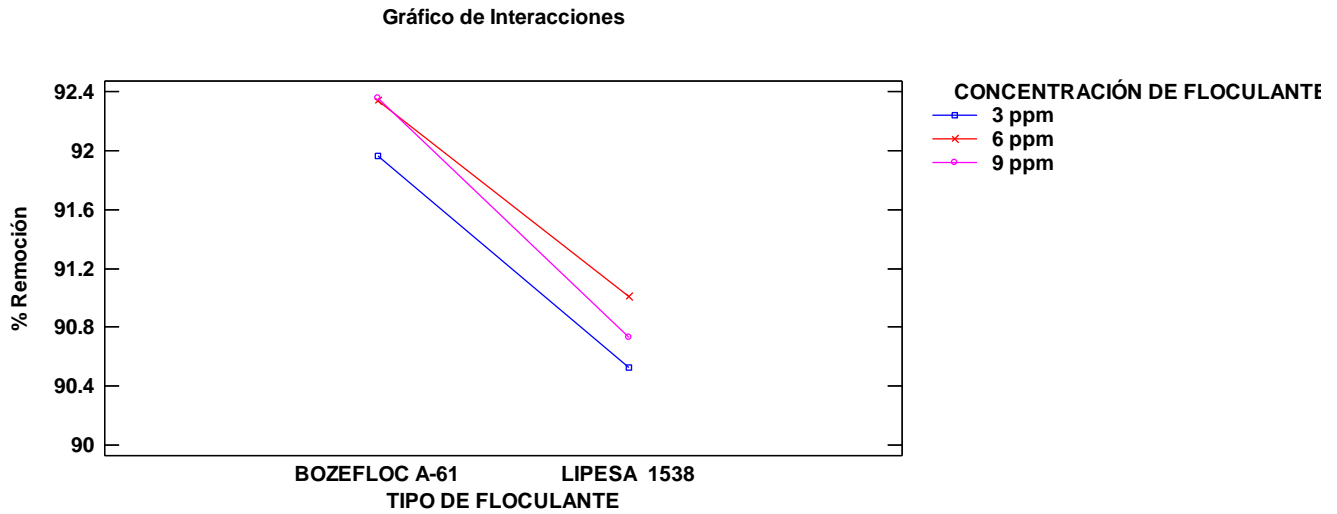


Gráfico 11: Gráfico de interacciones para el porcentaje de remoción

Se observa en el gráfico de interacciones, que el porcentaje de remoción difiere de acuerdo al tipo de floculante, siendo el floculante Bozefloc A-61 BT el que genera mejor porcentaje de remoción a cualquiera de sus 3 concentraciones.

5.6. Efecto sobre el pH

En la tabla 24, se muestra los resultados de los análisis de pH que se hizo al jugo clarificado para cada tratamiento.

Tabla 23: *Efecto de los floculantes sobre el pH*

Tipo de floculante	Efecto en el pH		
	Concentración	pH JE	pH JC
Lipesa 1538	3	8 ± 0.05	7.55 ± 0.06
	6	8 ± 0.05	7.54 ± 0.07
	9	8 ± 0.05	7.56 ± 0.08
Bozefloc A-61 BT	3	8 ± 0.05	7.56 ± 0.05
	6	8 ± 0.05	7.53 ± 0.10
	9	8 ± 0.05	7.55 ± 0.10

* Media de dos repeticiones

De la tabla 24, se puede observar que durante el proceso de clarificación hubo una caída del pH de jugo encalado al pH final del jugo clarificado un promedio de 0.5 unidades, resultando valores en el rango de 7.53 – 7.56, estos valores resultantes entre todos los tratamientos no muestran una diferencia significativa en el pH final del jugo clarificado.

Hugot (1986), sugiere que se puede permitir que el jugo clarificado se conserve ligeramente alcalino con un pH entre 7.1 y 7.5. Esto minimiza la pérdida de sacarosa por inversión, aunque advierte que el jugo alcalino reduce la velocidad de los tachos y dificulta la cristalización.

Por otro lado, **Cárdenas A. (2005)**, indica que un pH próximo a 7 es ideal para obtener un color más claro que tiende a la incoloridad del agua, inequívocamente es señal de un pH bajo, lo que no es aconsejable por las pérdidas de azúcar por inversión que origina. Por el contrario, un amarillo más fuerte, propenso al color mostaza, informa que el pH es alto, lo que también es dañino porque ese exceso de alcalinidad provoca la destrucción de reductores e influye en el aumento del color del azúcar.

Por lo tanto, según los autores, los resultados que se obtuvieron del pH se encuentran cercanos al rango óptimo para minimizar las pérdidas de azúcar por inversión de la sacarosa, sin embargo, estos valores podrían ser más ajustado realizando un estudio insitu dentro del proceso para la caída de pH.

Eduardo Batule (2004), nos dice que durante la clarificación siempre tiene lugar a una disminución del pH, esto es debido a la reacción que hay entre la cal con los fosfatos para originar varios fosfatos básicos de calcio; los fosfatos cálcicos son más insolubles y precipitan en el lodo, dejando la solución más ácida (es decir, con un pH más bajo).

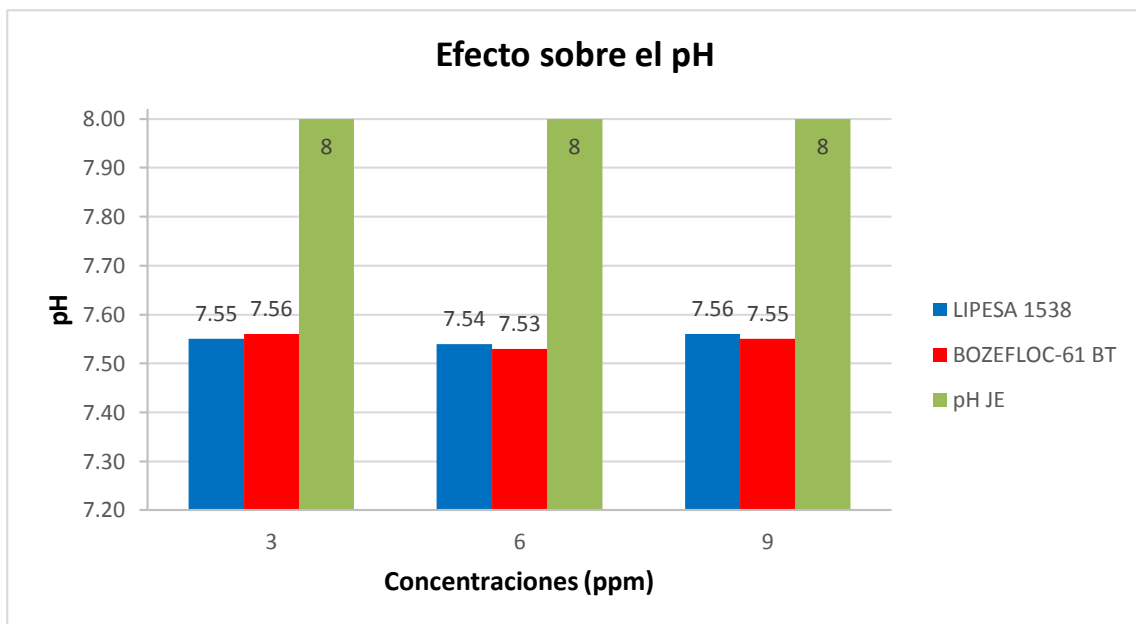


Gráfico 12: Efecto del tipo de floculante y sus concentraciones sobre el pH.

En el gráfico se puede visualizar claramente el efecto que causan los floculantes sobre el pH durante la clarificación de jugo, se observa que hubo una caída del pH del jugo encalado a un pH final más bajo de jugo clarificado, la cual no tuvo mucha diferencia entre en los valores de todos los tratamientos.

5.7. Efecto sobre el °Brix

En la tabla 25, se muestran los resultados de los porcentajes de sólidos solubles existentes en el jugo clarificado.

Tabla 24: Efecto de los floculantes sobre los °Brix

Tipo de floculante	Efecto en el °Brix		
	Concentración	°Brix JE	°Brix JC
Lipesa 1538	3	14.19 ± 0.05	15.15 ± 1.11
	6	14.19 ± 0.05	14.75 ± 0.89
	9	14.19 ± 0.05	14.75 ± 0.95
Bozefloc A-61 BT	3	14.19 ± 0.05	14.71 ± 1.23
	6	14.19 ± 0.05	14.87 ± 1.09
	9	14.19 ± 0.05	14.6 ± 0.88

* Media de dos repeticiones

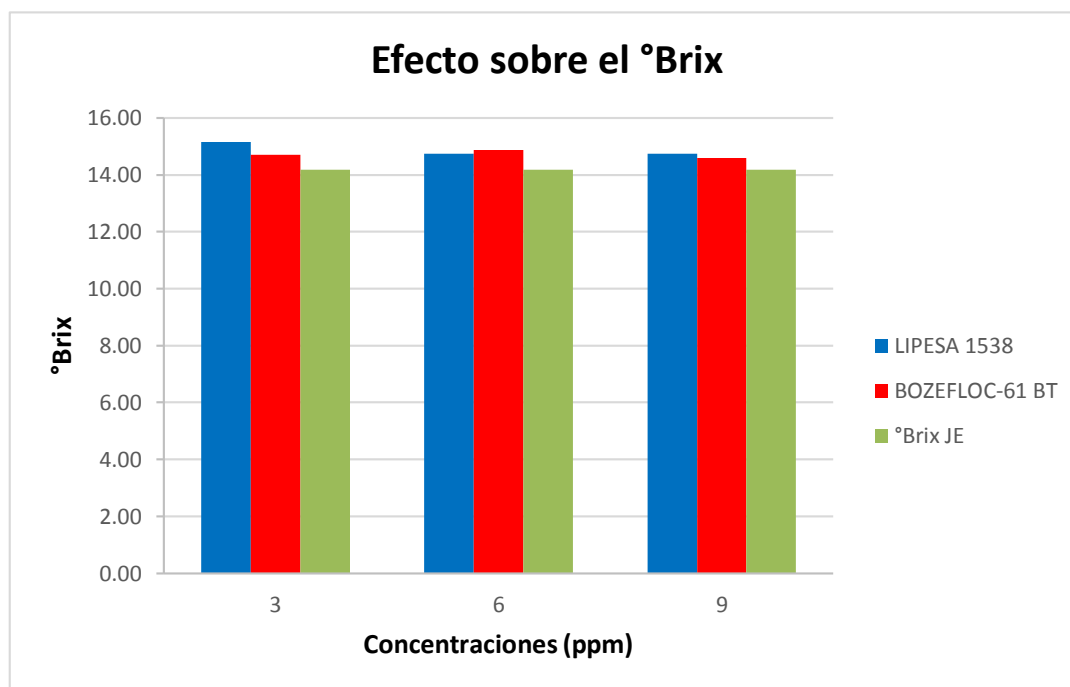


Gráfico 13: Efecto del tipo de floculante y sus concentraciones sobre los °Brix.

Durante el proceso de clarificación, los floculantes cumplen como función, aglomerar todas las impurezas y sedimentarlas. **Larrahondo J. (1995)**, menciona que todas las sustancias presentes en el jugo diferentes a la sacarosa se denominan en conjunto como no-azúcares y todas son consideradas impurezas, es por ello, que el valor de los °Brix antes y después de la clarificación no debe variar significativamente, es más hay una disminución de la sacarosa por pérdidas de inversión; sin embargo se observa en la tabla 24 y en el gráfico 15, que desde el jugo encalado hasta obtener un jugo clarificado, hubo un incremento en los °Brix para todos los tratamientos. Este mismo comportamiento se obtiene en el estudio de **Marín L. (2012)**, que reporta un incremento de los °Brix en todos sus tratamientos. Estos resultados no quieren decir que incremento la cantidad de sacarosa en el jugo, sino que hubo un aumento en la concentración en el jugo clarificado, debido a que el volumen total disminuyó por la sedimentación en forma de lodos.

Por otra parte, **Orosco B. (2006)**, evaluó los °Brix insitu en un ingenio azucarero en Guatemala, tomando 25 muestras para sus análisis y usando como agente clarificante el Octapol, de los cuales en algunos momentos los °Brix subían, mientras que en otros había una caída, sin embargo, las variaciones no eran significativas, por lo tanto, concluyó que los °Brix no se ven influenciado por el floculante.

5.8. Evaluación del costo/beneficio

La tabla 25, presenta el resumen de los resultados para el color y turbidez del jugo clarificado, el cual nos sirve para evaluar el costo/beneficio y concluir que floculante y su concentración le conviene usar a la empresa Agroindustria San Jacinto S.A. para optimizar sus costos y su proceso de clarificación.

Tabla 25: *Resumen del efecto del floculante sobre el color y turbidez*

Tipo de floculante	Efecto sobre el color y turbidez		
	Concentración	Color	Turbidez
Lipesa 1538	3	10111.63 ± 595.96	3904.14 ± 71.22
	6	9997.83 ± 413.72	3708.7 ± 68.00
	9	10114.83 ± 714.71	3826.18 ± 105.34
Bozefloc A-61 BT	3	10522.23 ± 212.84	3641.17 ± 25.20
	6	10816.26 ± 132.69	3483.44 ± 156.23
	9	10385.88 ± 371.41	3451.03 ± 74.84

De los resultados obtenidos para el color y turbidez, según la tabla 25, analizamos primeramente al floculante Lipesa 1538 en sus tres concentraciones, de ellos el mejor resultado se obtiene con la concentración de 6 ppm, con valores de 9997.83 UI para el color y 3708.7 UI para la turbidez.

Para el caso del floculante Bozefloc A-61 BT, se obtiene los valores más bajos en turbidez a 6 ppm (3483.44 UI) y a 9 ppm (3451.03 UI), sin embargo, con respecto al color, el valor más bajo se obtiene a 9 ppm (10385.88 UI), mientras que a 6 ppm se obtiene 10816.26 UI de color. Por otro lado, a la concentración de 3 ppm se obtiene 3641.17 UI de turbidez, que es el más alto con respecto a las concentraciones de 6 ppm y 9 ppm, pero menor a los valores obtenidos por el floculante Lipesa 1538, y con un valor de color de 10522.23 UI.

Ya que el color, es un parámetro que influye más en la calidad del producto terminado, lo cual es manejado de acuerdo a las necesidades de los clientes,

se opta por analizar el floculante de acuerdo a los resultados de la turbidez y elegimos la concentración de 3 ppm con un valor de 3641.67, por estar dentro del valor requerido por la empresa y porqué a esa concentración se ahorraría más en insumo.

Por lo tanto, para evaluar el costo/beneficio se tienen a Lipesa 1538 con una concentración de dosificación de 6 ppm y a Bozefloc A-61 BT con una concentración de dosificación de 3 ppm.

En promedio, en el ingenio cada hora llegan a los clarificadores según balance de masa, 213 m³/hora de jugo encalado, entonces:

- El costo del floculante Lipesa 1538 para el ingenio Agroindustrias San Jacinto S.A. está valorado en \$ 4.8/kg.

Por lo tanto, para una dosis de 6 ppm se tendría:

Por hora un consumo de floculante de 1.278 kg/h con un costo de \$6.13/h.

Por día un consumo de floculante de 30.672kg/día con un costo de \$147.12/día.

- El costo del floculante Bozefloc A-61 BT para el ingenio Agroindustrias San Jacinto S.A. está valorado en \$5.9/kg.

Por lo tanto, para una dosis de 3 ppm se tendría:

Por hora un consumo de floculante de 0.639 kg/h con un costo de \$3.77/kg.

Por día un consumo de floculante de 15.336 kg/día con un costo de \$90.48/día.

Viendo que hay una diferencia por día de \$56.64 a favor del floculante Bozefloc A-61 BT, a la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A. le traería un beneficio usar el floculante Bozefloc A-61 BT, pudiendo ahorrarse al día \$56.64 y por consiguiente al año \$20673.60.

VI. CONCLUSIONES

- Los floculantes Lipesa 1538 y Bozefloc A-61 BT influyen significativamente en la disminución del color y la turbidez en el jugo clarificado, obteniendo mejores resultados en el color con el floculante Lipesa 1538 y mejores resultados en la turbidez con el floculante Bozefloc A-61 BT.
- El floculante que ejerce una mejor clarificación, es el floculante Bozefloc A-61 BT, reportando un porcentaje de remoción de 92.35% a una concentración de 9 ppm.
- El floculante Lipesa 1538, tiene un efecto positivo sobre el color y turbidez con una concentración de 6 ppm, obteniéndose 9997.83 UI en el color y 3708.7 UI en la turbidez; mientras que el floculante Bozefloc A-61 BT reporta mejores resultados a una concentración de 9 ppm con valores de 10385.88 UI en el color y 3451.03 UI en la turbidez.
- Se obtuvo una caída de pH del jugo encalado al jugo clarificado de 0.5 unidades para todos los tratamientos. Por otra parte, hubo un incremento en los valores de los °Brix, siendo mayor en la dosificación de 3 ppm con un incremento en 0.96 unidades.
- El floculante Lipesa 1538 fue mejor en la velocidad de sedimentación a una concentración de 9 ppm, con una velocidad de 5.75 ml/s, en comparación al floculante Bozefloc A-61 BT, quien obtuvo una mayor velocidad de sedimentación a 9 ppm con una velocidad de 5.11 ml/s. Obteniéndose un menor tiempo de residencia durante la clarificación.
- Se obtuvo un ahorro diario de \$56.64 en el costo/beneficio a favor del floculante Bozefloc A-61 BT (3 ppm) en relación al floculante Lipesa 1538 (6ppm), lo cual significaría un ahorro anual de \$20673.60.

VII. RECOMENDACIONES

- Determinar la concentración óptima de fosfatos que tengan un efecto positivo sobre el color y turbidez del jugo clarificado.
- Efectuar un estudio con los mismos u otros floculantes para cada ingenio, ya que las condiciones cambian de un lugar a otro.
- Realizar un estudio insitu con el floculante y su concentración que dio mejores resultados, ya que durante la producción continua hay factores externos que pueden afectar la etapa de clarificación.
- Realizar un estudio del tiempo de maduración de la solución madre una vez implementado la nueva planta de preparación de floculante.
- Evaluar el efecto del tiempo de residencia sobre la pérdida de sacarosa, teniendo en cuenta las velocidades de sedimentación obtenidos con los tratamientos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Alvarado Aguilar, P.; Delgado Montero, K.; Sibaja Ballester, M.; Vega Baudrit, J. (2008).** Materiales poliméricos compuestos obtenidos a partir de los residuos generados por la agroindustria de la caña de azúcar. Laboratorio de polímeros (POLIUNA). Universidad Nacional, Heredia. Revista Iberoamericana de Polímeros. Costa Rica. Volumen 9 (4), pág. 391.
- **Batule E., (2004).** La clarificación del jugo de la caña y la meladura. Tecnólogo Azucarero - El Salvador: Serie azucarera 15
- **Buenaventura O. (1989).** Manual de laboratorio para la Industria Azucarera. Cali.
- **B. Silvia Zossi, Gerónimo J. Cárdenas, Natalia Sorol y Marcos Sastre (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 Tucuman (2010) Tomo 87 (1): 15-27. Argentina.
- **Cárdenas A. (2005).** Introducción al Proceso Agroindustrial Azucarero. Bases tecnológicas para su estrategia gerencial. Edit. AJL Producciones. Barquisimeto, Venezuela.
- **Crees O.L.; Whayman E.; Willersdorf A.L. (1977).** Further studies on flocculation, Proceedings of Queensland Society of Sugar Cane Technologists.
- **Dolores M. H., Aldana D. A. (2011).** Manejo integral del cultivo de caña de azúcar. Universidad Nacional Agraria la Molina, Jornada de Capacitación UNALM – AGROBANCO. Paijan-Ascope-La Libertad, Perú.

- **Doherty W.O.S.; Edye L.A. (1999).** An overview on the chemistry of clarification of cane sugar juice. Proceedings Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists.
- **García H. Albarracín L. Toscano A. Santana N. Insuasty O. (2007).** Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social. Colombia.
- **Gil N., (2008).** Consideraciones acerca del desempeño operacional de las estaciones de clarificación y filtración. Carta Trimestral 3 y 4. Cenicaña, pp.15-19.
- **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.
- **Hernández H., Hernández F. (2013).** El sector cañero en Nayarit desde una perspectiva organizacional y ambiental. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1333/cana-azucar.html>
- **Hugot E. (1986).** Handbook of Cane Sugar Engineering. 3rd Ed. Elsevier, Amsterdam.
- **Larrahondo J. (1995).** Calidad de la caña de azúcar. CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, Colombia.
- **Leal Arteaga, S.; Martínez Escobar, G.; Torres Muñoz, R. (2005).** Optimización del manejo y transporte de caña de azúcar en Ingenio La Magdalena. Universidad de El Salvador, S.A. Facultad Multidisciplinaria de Occidente. El Salvador.
- **Lenis Matute A., Charles Bedoya M. y Julio Feo. (2012).** Determinación de la concentración óptima de floculante a usar en la

clarificación de jugos de caña en un central azucarero. Instituto de Química y Tecnología. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. postal 4579. Marazay 2101A - Venezuela. Central Azucarero "El Palmar". San Mateo, Aragua. Venezuela. Rev. Fac. Agron. (UCV).

- **Libro de Métodos (2009).** International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA), Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlin, Alemania.
- **Marín L. (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. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Tecnología química, Pereira Risaralda.
- **Morales C. R. (2005).** Análisis del porcentaje de remoción de turbidez como un indicador de la eficiencia de los clarificadores de jugo tipo Dorr de ingenio San Diego. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- **Norma Técnica Colombiana (NTC) 2369 (1994).** Industrias Alimentarias. Floculantes derivados de la acrilamida utilizados en la clarificación del agua potable y de los jugos y jarabes de caña de azúcar, Bogotá, Colombia.
- **Oviedo F., Casanova L. (2013).** Caña de azúcar, Dirección General de Competitividad Agraria, 1ra Edición, Lima, Perú.
- **Ramos A. (2012).** Proceso de elaboración del azúcar de caña. Tecnicaña,– Cali, Colombia.
- **Rein P. (2012).** Ingeniería de caña de azúcar. Verlag Dr. Albert Bartens KG – Berlin, Alemania.

- **Romero, J., Torres, J. (1996).** Estudio de las variables en el proceso de clarificación de jugos diluidos de caña de azúcar. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Química. Cali, Colombia.
- **Svarovsky L. (2000).** Solid-Liquid Separation. Cuarta Edición. Londres: Editorial Elsevier.
- **Tock F. (1999).** Estudio de la dosificación de floculante en un clarificador Rapi – Dorr 444. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Ingeniería Química. Guatemala.
- **W.S. De VALENCE and M.J. van ZYL. (1999).** The use of advanced flocculants for juice clarification, Buckman Africa, Buckman Boulevard, Hammarsdale, KwaZulu-Natal, 3700. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.
- **Zepeda, E. (2012).** Propuesta de alternativas para la reducción de pérdidas de sacarosa en un ingenio azucarero. Universidad de el Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Química. San Salvador.

IX. ANEXOS

9.1. Anexo 1

Tabla 26: Datos obtenidos para la determinación del color y turbidez del jugo clarificado con el tratamiento del floculante Lipesa 1538

Concentración (ppm)	LIPESA 1538								
	Muestra		Muestra preparada sin filtrar			Muestra preparada filtrada			Turbidez
	ph	°Brix	A	°Brix	Color	A	°Brix	Color	
3	7.52	13.88	0.698	4.8	14313.23	0.498	4.72	10389.18	3924.05
	7.5	15.66	0.752	5.1	14481.48	0.539	5.04	10518.19	3963.29
	7.62	15.92	0.715	5.3	13252.6	0.495	5.16	9427.51	3825.09
PROMEDIO	7.55	15.15	0.72	5.07	14015.77	0.51	4.97	10111.63	3904.14
6	7.53	13.79	0.683	4.79	14034.88	0.495	4.74	10283.02	3751.86
	7.48	14.91	0.722	5.09	13931.07	0.521	5.03	10187.15	3743.92
	7.62	15.56	0.711	5.31	13153.64	0.501	5.17	9523.33	3630.31
PROMEDIO	7.54	14.75	0.71	5.06	13706.53	0.51	4.98	9997.83	3708.70
9	7.56	13.67	0.692	4.81	14160.69	0.496	4.75	10282.11	3878.58
	7.48	15.43	0.761	5.11	14626.11	0.551	5.05	10731.07	3895.04
	7.64	15.16	0.702	5.29	13036.24	0.489	5.15	9331.32	3704.92
PROMEDIO	7.56	14.75	0.72	5.07	13941.01	0.51	4.98	10114.83	3826.18

9.2. Anexo 2

Tabla 27: Datos obtenidos para la determinación del color y turbidez del jugo clarificado con el tratamiento del floculante Bozefloc A-61 BT

Concentración (ppm)	BOZEFLOC A-61 BT								
	Muestra		Muestra preparada sin filtrar			Muestra Preparada filtrada			Turbidez
	ph	°Brix	A	°Brix	Color	A	°Brix	Color	
3	7.57	13.3	0.713	4.91	14287.65	0.525	4.85	10654.69	3632.96
	7.5	15.22	0.751	5.29	13946.18	0.549	5.25	10276.72	3669.46
	7.6	15.6	0.741	5.11	14256.38	0.545	5.04	10635.28	3621.10
PROMEDIO	7.56	14.71	0.74	5.10	14163.40	0.54	5.05	10522.23	3641.17
6	7.51	13.61	0.704	4.9	14136.09	0.518	4.75	10733.95	3402.14
	7.45	15.63	0.785	5.27	14632.89	0.586	5.25	10969.33	3663.56
	7.64	15.36	0.733	5.1	14130.12	0.543	4.97	10745.49	3384.63
PROMEDIO	7.53	14.87	0.74	5.09	14299.70	0.55	4.99	10816.26	3483.44
9	7.54	13.59	0.708	4.89	14245.49	0.528	4.83	10759.95	3485.54
	7.46	15.18	0.722	5.3	13382.35	0.528	5.18	10017.19	3365.16
	7.65	15.04	0.723	5.12	13882.9	0.533	5.05	10380.51	3502.39
PROMEDIO	7.55	14.60	0.72	5.10	13836.91	0.53	5.02	10385.88	3451.03

9.3. Anexo 3

Tabla 28: Datos obtenidos para la determinación de la velocidad de sedimentación con el tratamiento del floculante Lipesa 1538

CONCENTRACIONES	tiempo(s)	LIPESA 1538			
		Volumen de sedimentación			
		V(ml)	V(ml)	V(ml)	Promedio
3 ppm	0	500	500	500	500.00
	30	200	190	200	196.67
	60	160	160	160	160.00
	90	130	130	130	130.00
	120	100	110	110	106.67
	150	90	100	100	96.67
	180	90	95	90	91.67
	210	90	90	90	90.00
	240	90	90	90	90.00
	270	90	90	90	90.00
300	90	90	90	90.00	
6 ppm	0	500	500	500	500.00
	30	180	170	180	176.67
	60	150	140	140	143.33
	90	110	120	120	116.67
	120	100	110	110	106.67
	150	90	100	100	96.67
	180	85	90	90	88.33
	210	85	90	90	88.33
	240	85	90	85	86.67
	270	85	85	85	85.00
300	85	85	85	85.00	
ppm	0	500	500	500	500.00
	30	190	190	190	190.00
	60	155	140	160	151.67
	90	130	120	140	130.00
	120	110	100	120	110.00
	150	95	90	90	91.67
	180	90	85	90	88.33
	210	90	85	90	88.33
	240	85	85	90	86.67
	270	85	80	85	83.33
300	85	80	85	83.33	

9.4. Anexo 4

Tabla 29: Datos obtenidos para la determinación de la velocidad de sedimentación con el tratamiento del floculante Bozefloc A-61 BT

CONCENTRACIONES	tiempo(s)	BOZEFLOC A-61 BT			
		Volumen de Sedimentación			
		V(ml)	V(ml)	V(ml)	Promedio
3 ppm	0	500	500	500	500.00
	30	130	160	140	143.33
	60	100	120	120	113.33
	90	90	105	100	98.33
	120	80	95	90	88.33
	150	80	85	85	83.33
	180	75	85	85	81.67
	210	75	80	80	78.33
	240	75	80	80	78.33
	270	75	80	80	78.33
	300	75	80	80	78.33
6 ppm	0	500	500	500	500.00
	30	170	180	200	183.33
	60	150	145	150	148.33
	90	130	120	125	125.00
	120	110	100	110	106.67
	150	100	90	100	96.67
	180	90	80	90	86.67
	210	85	75	80	80.00
	240	85	75	75	78.33
	270	75	70	75	73.33
	300	75	70	75	73.33
9 ppm	0	500	500	500	500.00
	30	140	150	130	140.00
	60	110	110	110	110.00
	90	100	100	100	100.00
	120	90	95	90	91.67
	150	85	90	85	86.67
	180	85	90	85	86.67
	210	80	85	85	83.33
	240	80	85	80	81.67
	270	80	85	80	81.67
	300	80	85	80	81.67

9.5. Anexo 5

Tabla 3030: Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de remoción con el tratamiento del floculante Lipesa 1538 y Bozefloc A-61 BT

Concentración (ppm)	LIPESA 1532			BOZEFLOC A-61 BT		
	Turbidez en el JE (UI)	Turbidez en el JC (UI)	% Remoción	Turbidez en el JE (UI)	Turbidez en el JC (UI)	% Remoción
3	44649.07	3924.05	91.21	44649.07	3632.96	91.86
	50708.92	3963.29	92.18	56076.23	3669.46	93.46
	32421.29	3825.09	88.20	38350.69	3621.10	90.56
PROMEDIO	42593.09	3904.14	90.53	46358.66	3641.17	91.96
6	44649.07	3751.86	91.60	44649.07	3402.14	92.38
	50708.92	3743.92	92.62	56076.23	3663.56	93.47
	32421.29	3630.31	88.80	38350.69	3384.63	91.17
PROMEDIO	42593.09	3708.70	91.01	46358.66	3483.44	92.34
9	44649.07	3878.58	91.31	44649.07	3485.54	92.19
	50708.92	3895.04	92.32	56076.23	3365.16	94.00
	32421.29	3704.92	88.57	38350.69	3502.39	90.87
PROMEDIO	42593.09	3826.18	90.73	46358.66	3451.03	92.35

9.6. Anexo 5

Tabla 31: Registro de control de operación de clarificación de jugo – Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

CONTROL DE OPERACIÓN DE CLARIFICACIÓN DE JUGO

Fecha:

HORA	Cantidad de Floculante utilizado (Kg)	T° de Preparación del Floculante (°C)	pH Floculante	Turbidez del Jugo clarificado (UIT)	pH de jugo clarificado	Torta de Cachaza		Verificación de la limpieza del Área					Código de Acción Correctiva	OBSERVACIONES
						% Pol	pH	Pisos *	Escaleras*	Canaletas *	Drenajes **	Otros		
Az. Rubia	1.6 a 2.4 Kg.	50 - 60 °C	8 - 9	Max. 5000	6.8 - 7.4	Máx.1.3	7.0 - 7.3							
Az. Blanca	1.6 a 2.4 Kg.	50 - 60 °C	8 - 9	Max. 4000	6.8 - 7.4	Máx.1.3	7.0 - 7.3							
00:00														
01:00														
02:00														
03:00														
04:00														
05:00														
06:00														
07:00														
08:00														
09:00														
10:00														
11:00														
12:00														
13:00														
14:00														
15:00														
16:00														
17:00														
18:00														
19:00														
20:00														
21:00														
22:00														
23:00														

leyenda:

Marcar con un (X) cuando se ejecute la limpieza

* Limpieza a ejecutarse de manera diaria

** Limpieza a ejecutarse trimestral y /o anual

OPERADOR DEL TURNO
07 A 15 Hrs

OPERADOR DEL TURNO
15 A 23 Hrs

OPERADOR DEL TURNO
23 A 07 Hrs

9.7. Anexo 6

Color y turbidez – determinación de jugos por espectrofotometría

a) PROPÓSITO

Determinar el color y turbidez en jugos.

b) ALCANCE

Este documento se aplica al jugo mezclado, encalado y jugo clarificado.

Es un indicativo de la eficacia del proceso de clarificación.

c) RESPONSABILIDADES

- **Jefe Div. Control de Calidad.-** Asegura el cumplimiento de la presente instrucción.
- **Analista de Materia prima y/o Analista Procesos de Azúcar.-** Ejecuta los análisis de acuerdo a la presente instrucción.
- **Supervisor de Procesos Azúcar.-** En caso de desviaciones de los parámetros coordina con el Ingeniero de Procesos para que realice las acciones correctivas correspondientes.

d) DEFINICIONES

El método mide la absorbancia debida a los sólidos suspendidos en el jugo, se basa en la medición de la absorbancia de una solución de la muestra previamente filtrada a través de una membrana de 0.45 μm , a una longitud de onda de 420 nm y a un pH de 7.0 ± 0.1 .

La turbidez se cuantifica mediante la determinación de la diferencia de la absorbancia de una solución de la muestra antes y después de filtrada, medida en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm y a un pH de 7.0 ± 0.1 .

e) DOCUMENTOS APLICABLES Y/O ANEXOS

- ICUMSA: Libro de Métodos 2005. Método GS1/3-7 (2002).
- Anexo1: Valores de densidad para soluciones puras de sacarosa a 20 ° C.
- Sistema SAP. Módulo QM. Transacción QE51N.

f) DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS

• **EQUIPOS**

- Espectrofotómetro.
- Refractómetro digital.
- Medidor de pH.
- Equipo de filtración al vacío.

• **MATERIALES**

- Vasos de precipitación de 250 ml.
- Gotero
- Probeta de 50 mL.
- Pipeta de 25 mL.
- Bombilla de caucho para pipetas.
- Filtros de membrana con tamaño de poro de 0.45 μm .
- Celdas de 1 cm.

• **REACTIVOS**

- Ácido clorhídrico 0.1 M
- Hidróxido de sodio 0.1 M.
- Agua destilada.

g) INSTRUCCIONES

• PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Homogenizar la muestra de jugo.
- Medir el Brix de la muestra original.
- Preparar 50 mL de solución de 5 Brix.
- Calcular la cantidad de material a ser utilizado: Volumen (Sol. 5 brix)= $250 / \text{brix corregido de muestra original}$.
- Llevar la cantidad calculada con la pipeta a la probeta y completar con agua hasta 50 mL.
- Transferir los 50 mL de solución a un vaso de precipitación. Homogenizar la solución.

• DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- Limpiar y secar el electrodo de un medidor de pH, correctamente calibrado y sumergirlo en la solución preparada. Ajustar la solución a $\text{pH } 7.0 \pm 0.1$ añadiendo ácido clorhídrico 0.1 M o solución de hidróxido de sodio 0.1 M.
- Llevar a Cero el refractómetro con agua destilada.
- Con el gotero adicionar en la unidad óptica del refractómetro una porción de la solución neutralizada, esperar a que la lectura se estabilice.
- Filtrar la solución neutralizada a través de la membrana de 0.45 μm , considerar descartar los primeros 5 ml del filtrado.
- Ajustar el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm, llenar la celda y ajustar a cero con agua destilada.
- Llenar otra celda con la solución, considerar el enjuague de la celda cada vez que se mida otra solución y determinar la absorbancia de la solución sin filtrar y de la solución filtrada.

h) CALCULOS

- **COLOR:**

Se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Color ICUMSA} = \frac{A * 10^8}{b * ^\circ\text{Bx} * m_w/V}$$

Donde:

A: Lectura de Absorbancia

b: Longitud de celda (1 cm)

$^\circ\text{Bx}$: Brix corregido

m_w/V : peso con respecto al aire por unidad de volumen, Kg/cm^3 (Ver en el anexo los valores de m_w/V)

- **TURBIDEZ:**

Se calcula el color expresado en unidades IU tanto para la muestra sin filtrar como para la muestra filtrada. La diferencia atribuye a turbidez y se reporta como la medida de turbidez relativa.

$$\text{Turbidez} = \text{Color (solución sin filtrar)} - \text{Color (solución filtrada)}$$

La turbidez se expresa en unidades ICUMSA (IU).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(\text{turbidez jugo encalado} - \text{turbidez jugo claro})}{\text{turbidez jugo encalado}} \times 100$$

i) ANEXO

Anexo 1: Tabla de Valores de densidad para soluciones puras de sacarosa a 20 ° C

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
0.0	998.203	997.153	0.000000	5.0	1017.805	1016.757	0.050890	10.0	1038.114	1037.070	0.103811
0.1	998.588	997.538	0.000999	5.1	1018.204	1017.157	0.051928	10.1	1038.528	1037.483	0.104891
0.2	998.974	997.924	0.001998	5.2	1018.604	1017.556	0.052967	10.2	1038.942	1037.897	0.105972
0.3	999.360	998.310	0.002998	5.3	1019.003	1017.956	0.054007	10.3	1039.356	1038.312	0.107054
0.4	999.746	998.696	0.003999	5.4	1019.403	1018.356	0.055048	10.4	1039.770	1038.726	0.108136
0.5	1000.132	999.082	0.005001	5.5	1019.804	1018.756	0.056089	10.5	1040.185	1039.141	0.109219
0.6	1000.519	999.469	0.006003	5.6	1020.204	1019.157	0.057131	10.6	1040.600	1039.556	0.110304
0.7	1000.906	999.856	0.007006	5.7	1020.605	1019.558	0.058174	10.7	1041.016	1039.972	0.111389
0.8	1001.293	1000.243	0.008010	5.8	1021.006	1019.959	0.059218	10.8	1041.431	1040.387	0.112475
0.9	1001.681	1000.631	0.009015	5.9	1021.408	1020.361	0.060263	10.9	1041.847	1040.804	0.113561
1.0	1002.068	1001.018	0.010021	6.0	1021.809	1020.762	0.061309	11.0	1042.264	1041.220	0.114649
1.1	1002.456	1001.407	0.011027	6.1	1022.211	1021.164	0.062355	11.1	1042.680	1041.636	0.115738
1.2	1002.845	1001.795	0.012034	6.2	1022.614	1021.567	0.063402	11.2	1043.097	1042.053	0.116827
1.3	1003.233	1002.184	0.013042	6.3	1023.016	1021.969	0.064450	11.3	1043.514	1042.471	0.117917
1.4	1003.622	1002.572	0.014051	6.4	1023.419	1022.372	0.065499	11.4	1043.932	1042.888	0.119008
1.5	1004.011	1002.962	0.015060	6.5	1023.822	1022.775	0.066548	11.5	1044.350	1043.306	0.120100
1.6	1004.401	1003.351	0.016070	6.6	1024.226	1023.179	0.067599	11.6	1044.768	1043.724	0.121193
1.7	1004.790	1003.741	0.017081	6.7	1024.629	1023.583	0.068650	11.7	1045.186	1044.143	0.122287
1.8	1005.180	1004.131	0.018093	6.8	1025.033	1023.987	0.069702	11.8	1045.605	1044.561	0.123381
1.9	1005.570	1004.521	0.019106	6.9	1025.438	1024.391	0.070755	11.9	1046.024	1044.980	0.124477
2.0	1005.961	1004.912	0.020119	7.0	1025.842	1024.796	0.071809	12.0	1046.443	1045.400	0.125573
2.1	1006.352	1005.302	0.021133	7.1	1026.247	1025.201	0.072864	12.1	1046.862	1045.819	0.126670
2.2	1006.743	1005.693	0.022148	7.2	1026.652	1025.606	0.073919	12.2	1047.282	1046.239	0.127768
2.3	1007.134	1006.085	0.023164	7.3	1027.058	1026.011	0.074975	12.3	1047.702	1046.659	0.128867
2.4	1007.526	1006.477	0.024181	7.4	1027.463	1026.417	0.076032	12.4	1048.123	1047.080	0.129967
2.5	1007.917	1006.868	0.025198	7.5	1027.869	1026.823	0.077090	12.5	1048.544	1047.501	0.131068
2.6	1008.310	1007.261	0.026216	7.6	1028.276	1027.230	0.078149	12.6	1048.965	1047.922	0.132170
2.7	1008.702	1007.653	0.027235	7.7	1028.682	1027.636	0.079209	12.7	1049.386	1048.343	0.133272
2.8	1009.095	1008.046	0.028255	7.8	1029.089	1028.043	0.080269	12.8	1049.808	1048.765	0.134375
2.9	1009.488	1008.439	0.029275	7.9	1029.496	1028.451	0.081330	12.9	1050.230	1049.187	0.135480
3.0	1009.881	1008.832	0.030296	8.0	1029.904	1028.858	0.082392	13.0	1050.652	1049.609	0.136585
3.1	1010.274	1009.226	0.031319	8.1	1030.311	1029.266	0.083455	13.1	1051.075	1050.032	0.137691
3.2	1010.668	1009.620	0.032341	8.2	1030.720	1029.674	0.084519	13.2	1051.497	1050.455	0.138798
3.3	1011.062	1010.014	0.033365	8.3	1031.128	1030.082	0.085584	13.3	1051.921	1050.878	0.139905
3.4	1011.457	1010.408	0.034390	8.4	1031.536	1030.491	0.086649	13.4	1052.344	1051.302	0.141014
3.5	1011.851	1010.803	0.035415	8.5	1031.945	1030.900	0.087715	13.5	1052.768	1051.726	0.142124
3.6	1012.246	1011.198	0.036441	8.6	1032.355	1031.309	0.088782	13.6	1053.192	1052.150	0.143234
3.7	1012.642	1011.593	0.037468	8.7	1032.764	1031.719	0.089850	13.7	1053.616	1052.574	0.144345
3.8	1013.037	1011.989	0.038495	8.8	1033.174	1032.129	0.090919	13.8	1054.041	1052.999	0.145458
3.9	1013.433	1012.385	0.039524	8.9	1033.584	1032.539	0.091989	13.9	1054.466	1053.424	0.146571
4.0	1013.829	1012.781	0.040553	9.0	1033.994	1032.949	0.093059	14.0	1054.891	1053.849	0.147685
4.1	1014.225	1013.177	0.041583	9.1	1034.405	1033.360	0.094131	14.1	1055.317	1054.275	0.148800
4.2	1014.622	1013.574	0.042614	9.2	1034.816	1033.771	0.095203	14.2	1055.743	1054.701	0.149915
4.3	1015.019	1013.971	0.043646	9.3	1035.227	1034.182	0.096276	14.3	1056.169	1055.127	0.151032
4.4	1015.416	1014.368	0.044678	9.4	1035.639	1034.594	0.097350	14.4	1056.596	1055.554	0.152150
4.5	1015.813	1014.766	0.045712	9.5	1036.051	1035.006	0.098425	14.5	1057.022	1055.981	0.153268
4.6	1016.211	1015.163	0.046746	9.6	1036.463	1035.418	0.099500	14.6	1057.450	1056.408	0.154388
4.7	1016.609	1015.561	0.047781	9.7	1036.875	1035.831	0.100577	14.7	1057.877	1056.835	0.155508
4.8	1017.007	1015.960	0.048816	9.8	1037.288	1036.243	0.101654	14.8	1058.305	1057.263	0.156629
4.9	1017.406	1016.359	0.049853	9.9	1037.701	1036.656	0.102732	14.9	1058.733	1057.691	0.157751

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
15.0	1059.161	1058.120	0.158874	20.0	1080.976	1079.938	0.216195	25.0	1103.589	1102.555	0.275897
15.1	1059.590	1058.549	0.159998	20.1	1081.420	1080.382	0.217365	25.1	1104.050	1103.015	0.277116
15.2	1060.019	1058.978	0.161123	20.2	1081.865	1080.827	0.218537	25.2	1104.511	1103.476	0.278337
15.3	1060.448	1059.407	0.162249	20.3	1082.310	1081.272	0.219709	25.3	1104.972	1103.938	0.279558
15.4	1060.878	1059.837	0.163375	20.4	1082.755	1081.717	0.220882	25.4	1105.434	1104.399	0.280780
15.5	1061.308	1060.267	0.164503	20.5	1083.201	1082.163	0.222056	25.5	1105.896	1104.861	0.282003
15.6	1061.738	1060.697	0.165631	20.6	1083.647	1082.609	0.223231	25.6	1106.358	1105.324	0.283228
15.7	1062.168	1061.127	0.166760	20.7	1084.093	1083.055	0.224407	25.7	1106.820	1105.786	0.284453
15.8	1062.599	1061.558	0.167891	20.8	1084.540	1083.502	0.225584	25.8	1107.283	1106.249	0.285679
15.9	1063.030	1061.990	0.169022	20.9	1084.986	1083.949	0.226762	25.9	1107.747	1106.713	0.286906
16.0	1063.462	1062.421	0.170154	21.0	1085.434	1084.396	0.227941	26.0	1108.210	1107.176	0.288135
16.1	1063.893	1062.853	0.171287	21.1	1085.881	1084.844	0.229121	26.1	1108.674	1107.640	0.289364
16.2	1064.325	1063.285	0.172421	21.2	1086.329	1085.292	0.230302	26.2	1109.138	1108.105	0.290594
16.3	1064.758	1063.717	0.173556	21.3	1086.777	1085.740	0.231484	26.3	1109.603	1108.569	0.291826
16.4	1065.191	1064.150	0.174691	21.4	1087.226	1086.189	0.232666	26.4	1110.068	1109.034	0.293058
16.5	1065.624	1064.583	0.175828	21.5	1087.675	1086.638	0.233850	26.5	1110.533	1109.500	0.294291
16.6	1066.057	1065.017	0.176965	21.6	1088.124	1087.087	0.235035	26.6	1110.999	1109.965	0.295526
16.7	1066.490	1065.450	0.178104	21.7	1088.573	1087.536	0.236220	26.7	1111.465	1110.431	0.296761
16.8	1066.924	1065.884	0.179243	21.8	1089.023	1087.986	0.237407	26.8	1111.931	1110.898	0.297998
16.9	1067.359	1066.319	0.180384	21.9	1089.473	1088.436	0.238595	26.9	1112.398	1111.365	0.299235
17.0	1067.793	1066.753	0.181525	22.0	1089.924	1088.887	0.239783	27.0	1112.865	1111.832	0.300473
17.1	1068.228	1067.188	0.182667	22.1	1090.374	1089.338	0.240973	27.1	1113.332	1112.299	0.301713
17.2	1068.663	1067.623	0.183810	22.2	1090.826	1089.789	0.242163	27.2	1113.800	1112.767	0.302954
17.3	1069.099	1068.059	0.184954	22.3	1091.277	1090.241	0.243355	27.3	1114.268	1113.235	0.304195
17.4	1069.535	1068.495	0.186099	22.4	1091.729	1090.692	0.244547	27.4	1114.736	1113.703	0.305438
17.5	1069.971	1068.931	0.187245	22.5	1092.181	1091.144	0.245741	27.5	1115.205	1114.172	0.306681
17.6	1070.407	1069.367	0.188392	22.6	1092.633	1091.597	0.246935	27.6	1115.674	1114.641	0.307926
17.7	1070.844	1069.804	0.189539	22.7	1093.086	1092.050	0.248131	27.7	1116.143	1115.110	0.309172
17.8	1071.281	1070.241	0.190688	22.8	1093.539	1092.503	0.249327	27.8	1116.613	1115.580	0.310418
17.9	1071.718	1070.679	0.191838	22.9	1093.992	1092.956	0.250524	27.9	1117.083	1116.050	0.311666
18.0	1072.156	1071.117	0.192988	23.0	1094.446	1093.410	0.251723	28.0	1117.553	1116.520	0.312915
18.1	1072.594	1071.555	0.194139	23.1	1094.900	1093.864	0.252922	28.1	1118.024	1116.991	0.314165
18.2	1073.032	1071.993	0.195292	23.2	1095.354	1094.319	0.254122	28.2	1118.495	1117.462	0.315415
18.3	1073.471	1072.432	0.196445	23.3	1095.809	1094.773	0.255324	28.3	1118.966	1117.934	0.316667
18.4	1073.910	1072.871	0.197599	23.4	1096.264	1095.228	0.256526	28.4	1119.438	1118.405	0.317920
18.5	1074.349	1073.310	0.198755	23.5	1096.720	1095.684	0.257729	28.5	1119.910	1118.878	0.319174
18.6	1074.789	1073.750	0.199911	23.6	1097.175	1096.140	0.258933	28.6	1120.382	1119.350	0.320429
18.7	1075.228	1074.190	0.201068	23.7	1097.631	1096.596	0.260139	28.7	1120.855	1119.823	0.321685
18.8	1075.669	1074.630	0.202226	23.8	1098.088	1097.052	0.261345	28.8	1121.328	1120.296	0.322942
18.9	1076.109	1075.070	0.203385	23.9	1098.544	1097.509	0.262552	28.9	1121.801	1120.769	0.324201
19.0	1076.550	1075.511	0.204545	24.0	1099.001	1097.966	0.263760	29.0	1122.275	1121.243	0.325460
19.1	1076.991	1075.953	0.205705	24.1	1099.458	1098.423	0.264969	29.1	1122.749	1121.717	0.326720
19.2	1077.433	1076.394	0.206867	24.2	1099.916	1098.881	0.266180	29.2	1123.223	1122.192	0.327981
19.3	1077.874	1076.836	0.208030	24.3	1100.374	1099.339	0.267391	29.3	1123.698	1122.667	0.329244
19.4	1078.317	1077.278	0.209193	24.4	1100.832	1099.797	0.268603	29.4	1124.173	1123.142	0.330507
19.5	1078.759	1077.721	0.210358	24.5	1101.291	1100.256	0.269816	29.5	1124.649	1123.617	0.331771
19.6	1079.202	1078.163	0.211524	24.6	1101.750	1100.715	0.271030	29.6	1125.125	1124.093	0.333037
19.7	1079.645	1078.607	0.212690	24.7	1102.209	1101.174	0.272246	29.7	1125.601	1124.569	0.334303
19.8	1080.088	1079.050	0.213857	24.8	1102.669	1101.634	0.273462	29.8	1126.077	1125.046	0.335571
19.9	1080.532	1079.494	0.215026	24.9	1103.129	1102.094	0.274679	29.9	1126.554	1125.523	0.336840

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
30.0	1127.031	1126.000	0.338109	35.0	1151.331	1150.304	0.402966	40.0	1176.518	1175.495	0.470607
30.1	1127.509	1126.478	0.339380	35.1	1151.826	1150.799	0.404291	40.1	1177.031	1176.008	0.471990
30.2	1127.986	1126.955	0.340652	35.2	1152.322	1151.294	0.405617	40.2	1177.545	1176.521	0.473373
30.3	1128.465	1127.434	0.341925	35.3	1152.817	1151.790	0.406945	40.3	1178.058	1177.035	0.474758
30.4	1128.943	1127.912	0.343199	35.4	1153.313	1152.286	0.408273	40.4	1178.573	1177.549	0.476143
30.5	1129.422	1128.391	0.344474	35.5	1153.810	1152.783	0.409602	40.5	1179.087	1178.064	0.477530
30.6	1129.901	1128.871	0.345750	35.6	1154.306	1153.279	0.410933	40.6	1179.602	1178.579	0.478918
30.7	1130.381	1129.350	0.347027	35.7	1154.804	1153.777	0.412265	40.7	1180.117	1179.094	0.480308
30.8	1130.861	1129.830	0.348305	35.8	1155.301	1154.274	0.413598	40.8	1180.632	1179.609	0.481698
30.9	1131.341	1130.311	0.349584	35.9	1155.799	1154.772	0.414932	40.9	1181.148	1180.125	0.483090
31.0	1131.822	1130.791	0.350865	36.0	1156.297	1155.270	0.416267	41.0	1181.665	1180.642	0.484483
31.1	1132.302	1131.272	0.352146	36.1	1156.796	1155.769	0.417603	41.1	1182.181	1181.158	0.485877
31.2	1132.784	1131.754	0.353429	36.2	1157.294	1156.268	0.418941	41.2	1182.698	1181.676	0.487272
31.3	1133.265	1132.235	0.354712	36.3	1157.794	1156.767	0.420279	41.3	1183.216	1182.193	0.488668
31.4	1133.747	1132.717	0.355997	36.4	1158.293	1157.267	0.421619	41.4	1183.733	1182.711	0.490066
31.5	1134.230	1133.200	0.357282	36.5	1158.793	1157.767	0.422960	41.5	1184.252	1183.229	0.491464
31.6	1134.712	1133.682	0.358569	36.6	1159.293	1158.267	0.424301	41.6	1184.770	1183.748	0.492864
31.7	1135.195	1134.166	0.359857	36.7	1159.794	1158.768	0.425644	41.7	1185.289	1184.266	0.494265
31.8	1135.679	1134.649	0.361146	36.8	1160.295	1159.269	0.426989	41.8	1185.808	1184.786	0.495668
31.9	1136.163	1135.133	0.362436	36.9	1160.797	1159.771	0.428334	41.9	1186.328	1185.305	0.497071
32.0	1136.647	1135.617	0.363727	37.0	1161.298	1160.272	0.429680	42.0	1186.848	1185.825	0.498476
32.1	1137.131	1136.101	0.365019	37.1	1161.800	1160.775	0.431028	42.1	1187.368	1186.346	0.499882
32.2	1137.616	1136.586	0.366312	37.2	1162.303	1161.277	0.432377	42.2	1187.889	1186.867	0.501289
32.3	1138.101	1137.071	0.367607	37.3	1162.806	1161.780	0.433727	42.3	1188.410	1187.388	0.502697
32.4	1138.586	1137.557	0.368902	37.4	1163.309	1162.283	0.435078	42.4	1188.931	1187.909	0.504107
32.5	1139.072	1138.043	0.370198	37.5	1163.812	1162.787	0.436430	42.5	1189.453	1188.431	0.505517
32.6	1139.558	1138.529	0.371496	37.6	1164.316	1163.291	0.437783	42.6	1189.975	1188.953	0.506929
32.7	1140.045	1139.016	0.372795	37.7	1164.821	1163.795	0.439137	42.7	1190.498	1189.476	0.508342
32.8	1140.532	1139.503	0.374094	37.8	1165.325	1164.300	0.440493	42.8	1191.021	1189.999	0.509757
32.9	1141.019	1139.990	0.375395	37.9	1165.830	1164.805	0.441850	42.9	1191.544	1190.522	0.511172
33.0	1141.506	1140.477	0.376697	38.0	1166.335	1165.310	0.443207	43.0	1192.067	1191.046	0.512589
33.1	1141.994	1140.965	0.378000	38.1	1166.841	1165.816	0.444566	43.1	1192.591	1191.570	0.514007
33.2	1142.483	1141.454	0.379304	38.2	1167.347	1166.322	0.445927	43.2	1193.116	1192.095	0.515426
33.3	1142.971	1141.942	0.380609	38.3	1167.854	1166.829	0.447288	43.3	1193.641	1192.620	0.516846
33.4	1143.460	1142.432	0.381916	38.4	1168.360	1167.336	0.448650	43.4	1194.166	1193.145	0.518268
33.5	1143.949	1142.921	0.383223	38.5	1168.868	1167.843	0.450014	43.5	1194.691	1193.670	0.519691
33.6	1144.439	1143.411	0.384532	38.6	1169.375	1168.350	0.451379	43.6	1195.217	1194.196	0.521115
33.7	1144.929	1143.901	0.385841	38.7	1169.883	1168.858	0.452745	43.7	1195.743	1194.723	0.522540
33.8	1145.420	1144.391	0.387152	38.8	1170.391	1169.367	0.454112	43.8	1196.270	1195.249	0.523966
33.9	1145.910	1144.882	0.388464	38.9	1170.900	1169.875	0.455480	43.9	1196.797	1195.776	0.525394
34.0	1146.401	1145.373	0.389776	39.0	1171.409	1170.384	0.456849	44.0	1197.324	1196.304	0.526823
34.1	1146.893	1145.865	0.391090	39.1	1171.918	1170.894	0.458220	44.1	1197.852	1196.832	0.528253
34.2	1147.384	1146.356	0.392405	39.2	1172.428	1171.404	0.459592	44.2	1198.380	1197.360	0.529684
34.3	1147.877	1146.849	0.393722	39.3	1172.938	1171.914	0.460965	44.3	1198.909	1197.888	0.531117
34.4	1148.369	1147.341	0.395039	39.4	1173.448	1172.424	0.462339	44.4	1199.438	1198.417	0.532550
34.5	1148.862	1147.834	0.396357	39.5	1173.959	1172.935	0.463714	44.5	1199.967	1198.947	0.533985
34.6	1149.355	1148.327	0.397677	39.6	1174.470	1173.446	0.465090	44.6	1200.496	1199.476	0.535421
34.7	1149.849	1148.821	0.398997	39.7	1174.982	1173.958	0.466468	44.7	1201.026	1200.006	0.536859
34.8	1150.343	1149.315	0.400319	39.8	1175.494	1174.470	0.467846	44.8	1201.557	1200.537	0.538297
34.9	1150.837	1149.809	0.401642	39.9	1176.006	1174.982	0.469226	44.9	1202.088	1201.068	0.539737

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
45.0	1202.619	1201.599	0.541178	50.0	1229.656	1228.640	0.614828	55.0	1257.649	1256.637	0.691707
45.1	1203.150	1202.130	0.542621	50.1	1230.206	1229.190	0.616333	55.1	1258.219	1257.207	0.693279
45.2	1203.682	1202.662	0.544064	50.2	1230.757	1229.741	0.617840	55.2	1258.789	1257.778	0.694851
45.3	1204.214	1203.195	0.545509	50.3	1231.308	1230.293	0.619348	55.3	1259.359	1258.348	0.696426
45.4	1204.747	1203.727	0.546955	50.4	1231.860	1230.844	0.620857	55.4	1259.930	1258.919	0.698001
45.5	1205.280	1204.261	0.548402	50.5	1232.412	1231.396	0.622368	55.5	1260.502	1259.490	0.699578
45.6	1205.813	1204.794	0.549851	50.6	1232.964	1231.949	0.623880	55.6	1261.073	1260.062	0.701157
45.7	1206.347	1205.328	0.551301	50.7	1233.517	1232.502	0.625393	55.7	1261.645	1260.634	0.702736
45.8	1206.881	1205.862	0.552752	50.8	1234.070	1233.055	0.626907	55.8	1262.218	1261.207	0.704317
45.9	1207.416	1206.397	0.554204	50.9	1234.623	1233.608	0.628423	55.9	1262.791	1261.780	0.705900
46.0	1207.950	1206.931	0.555657	51.0	1235.177	1234.162	0.629940	56.0	1263.364	1262.353	0.707484
46.1	1208.486	1207.467	0.557112	51.1	1235.732	1234.717	0.631459	56.1	1263.937	1262.927	0.709069
46.2	1209.021	1208.003	0.558568	51.2	1236.286	1235.271	0.632979	56.2	1264.511	1263.501	0.710655
46.3	1209.557	1208.539	0.560025	51.3	1236.841	1235.827	0.634500	56.3	1265.086	1264.075	0.712243
46.4	1210.094	1209.075	0.561483	51.4	1237.397	1236.382	0.636022	56.4	1265.661	1264.650	0.713833
46.5	1210.630	1209.612	0.562943	51.5	1237.952	1236.938	0.637546	56.5	1266.236	1265.226	0.715423
46.6	1211.168	1210.149	0.564404	51.6	1238.509	1237.494	0.639070	56.6	1266.811	1265.801	0.717015
46.7	1211.705	1210.687	0.565866	51.7	1239.065	1238.051	0.640597	56.7	1267.387	1266.377	0.718609
46.8	1212.243	1211.225	0.567330	51.8	1239.622	1238.608	0.642124	56.8	1267.964	1266.954	0.720203
46.9	1212.781	1211.763	0.568794	51.9	1240.180	1239.165	0.643653	56.9	1268.540	1267.531	0.721800
47.0	1213.320	1212.302	0.570260	52.0	1240.737	1239.723	0.645183	57.0	1269.118	1268.108	0.723397
47.1	1213.859	1212.841	0.571728	52.1	1241.295	1240.281	0.646715	57.1	1269.695	1268.685	0.724996
47.2	1214.398	1213.380	0.573196	52.2	1241.854	1240.840	0.648248	57.2	1270.273	1269.263	0.726596
47.3	1214.938	1213.920	0.574666	52.3	1242.413	1241.399	0.649782	57.3	1270.851	1269.842	0.728198
47.4	1215.478	1214.460	0.576137	52.4	1242.972	1241.958	0.651317	57.4	1271.430	1270.421	0.729801
47.5	1216.019	1215.001	0.577609	52.5	1243.532	1242.518	0.652854	57.5	1272.009	1271.000	0.731405
47.6	1216.560	1215.542	0.579082	52.6	1244.092	1243.078	0.654392	57.6	1272.589	1271.579	0.733011
47.7	1217.101	1216.083	0.580557	52.7	1244.652	1243.639	0.655932	57.7	1273.168	1272.159	0.734618
47.8	1217.643	1216.625	0.582033	52.8	1245.213	1244.200	0.657472	57.8	1273.749	1272.740	0.736227
47.9	1218.185	1217.167	0.583510	52.9	1245.774	1244.761	0.659015	57.9	1274.329	1273.320	0.737837
48.0	1218.727	1217.710	0.584989	53.0	1246.336	1245.323	0.660558	58.0	1274.910	1273.901	0.739448
48.1	1219.270	1218.253	0.586469	53.1	1246.898	1245.885	0.662103	58.1	1275.492	1274.483	0.741061
48.2	1219.813	1218.796	0.587950	53.2	1247.460	1246.447	0.663649	58.2	1276.074	1275.065	0.742675
48.3	1220.357	1219.340	0.589432	53.3	1248.023	1247.010	0.665196	58.3	1276.656	1275.647	0.744290
48.4	1220.901	1219.884	0.590916	53.4	1248.586	1247.573	0.666745	58.4	1277.238	1276.230	0.745907
48.5	1221.445	1220.428	0.592401	53.5	1249.150	1248.137	0.668295	58.5	1277.821	1276.813	0.747526
48.6	1221.990	1220.973	0.593887	53.6	1249.713	1248.701	0.669846	58.6	1278.405	1277.396	0.749145
48.7	1222.535	1221.518	0.595374	53.7	1250.278	1249.265	0.671399	58.7	1278.989	1277.980	0.750766
48.8	1223.080	1222.064	0.596863	53.8	1250.842	1249.830	0.672953	58.8	1279.573	1278.565	0.752389
48.9	1223.626	1222.609	0.598353	53.9	1251.408	1250.395	0.674509	58.9	1280.157	1279.149	0.754013
49.0	1224.172	1223.156	0.599844	54.0	1251.973	1250.961	0.676065	59.0	1280.742	1279.734	0.755638
49.1	1224.719	1223.702	0.601337	54.1	1252.539	1251.527	0.677624	59.1	1281.328	1280.320	0.757265
49.2	1225.266	1224.250	0.602831	54.2	1253.105	1252.093	0.679183	59.2	1281.913	1280.905	0.758893
49.3	1225.813	1224.797	0.604326	54.3	1253.672	1252.660	0.680744	59.3	1282.499	1281.492	0.760522
49.4	1226.361	1225.345	0.605822	54.4	1254.239	1253.227	0.682306	59.4	1283.086	1282.078	0.762153
49.5	1226.909	1225.893	0.607320	54.5	1254.806	1253.794	0.683869	59.5	1283.673	1282.665	0.763785
49.6	1227.458	1226.442	0.608819	54.6	1255.374	1254.362	0.685434	59.6	1284.260	1283.253	0.765419
49.7	1228.007	1226.991	0.610319	54.7	1255.942	1254.930	0.687000	59.7	1284.848	1283.840	0.767054
49.8	1228.556	1227.540	0.611821	54.8	1256.511	1255.499	0.688568	59.8	1285.436	1284.429	0.768691
49.9	1229.106	1228.090	0.613324	54.9	1257.080	1256.068	0.690137	59.9	1286.024	1285.017	0.770329

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
60.0	1286.61	1285.61	0.77197	65.0	1316.56	1315.55	0.85576	70.0	1347.48	1346.48	0.94323
60.1	1287.20	1286.20	0.77361	65.1	1317.17	1316.16	0.85747	70.1	1348.11	1347.11	0.94502
60.2	1287.79	1286.79	0.77525	65.2	1317.77	1316.77	0.85919	70.2	1348.73	1347.74	0.94681
60.3	1288.38	1287.38	0.77689	65.3	1318.38	1317.38	0.86090	70.3	1349.36	1348.37	0.94860
60.4	1288.97	1287.97	0.77854	65.4	1318.99	1317.99	0.86262	70.4	1349.99	1349.00	0.95040
60.5	1289.56	1288.56	0.78019	65.5	1319.60	1318.60	0.86434	70.5	1350.62	1349.63	0.95219
60.6	1290.15	1289.15	0.78183	65.6	1320.22	1319.21	0.86606	70.6	1351.25	1350.26	0.95398
60.7	1290.75	1289.74	0.78348	65.7	1320.83	1319.82	0.86778	70.7	1351.88	1350.89	0.95578
60.8	1291.34	1290.33	0.78513	65.8	1321.44	1320.44	0.86951	70.8	1352.52	1351.52	0.95758
60.9	1291.93	1290.92	0.78679	65.9	1322.05	1321.05	0.87123	70.9	1353.15	1352.15	0.95938
61.0	1292.52	1291.52	0.78844	66.0	1322.66	1321.66	0.87296	71.0	1353.78	1352.78	0.96118
61.1	1293.12	1292.11	0.79009	66.1	1323.28	1322.27	0.87468	71.1	1354.41	1353.41	0.96299
61.2	1293.71	1292.70	0.79175	66.2	1323.89	1322.89	0.87641	71.2	1355.04	1354.05	0.96479
61.3	1294.30	1293.30	0.79341	66.3	1324.50	1323.50	0.87814	71.3	1355.68	1354.68	0.96660
61.4	1294.90	1293.89	0.79507	66.4	1325.12	1324.11	0.87988	71.4	1356.31	1355.31	0.96841
61.5	1295.49	1294.49	0.79673	66.5	1325.73	1324.73	0.88161	71.5	1356.94	1355.95	0.97021
61.6	1296.09	1295.08	0.79839	66.6	1326.34	1325.34	0.88335	71.6	1357.58	1356.58	0.97203
61.7	1296.68	1295.68	0.80005	66.7	1326.96	1325.96	0.88508	71.7	1358.21	1357.22	0.97384
61.8	1297.28	1296.27	0.80172	66.8	1327.58	1326.57	0.88682	71.8	1358.85	1357.85	0.97565
61.9	1297.88	1296.87	0.80339	66.9	1328.19	1327.19	0.88856	71.9	1359.48	1358.49	0.97747
62.0	1298.47	1297.47	0.80505	67.0	1328.81	1327.81	0.89030	72.0	1360.12	1359.12	0.97928
62.1	1299.07	1298.06	0.80672	67.1	1329.42	1328.42	0.89204	72.1	1360.75	1359.76	0.98110
62.2	1299.67	1298.66	0.80839	67.2	1330.04	1329.04	0.89379	72.2	1361.39	1360.39	0.98292
62.3	1300.27	1299.26	0.81007	67.3	1330.66	1329.66	0.89553	72.3	1362.03	1361.03	0.98475
62.4	1300.86	1299.86	0.81174	67.4	1331.28	1330.28	0.89728	72.4	1362.66	1361.67	0.98657
62.5	1301.46	1300.46	0.81341	67.5	1331.90	1330.89	0.89903	72.5	1363.30	1362.31	0.98839
62.6	1302.06	1301.06	0.81509	67.6	1332.51	1331.51	0.90078	72.6	1363.94	1362.94	0.99022
62.7	1302.66	1301.66	0.81677	67.7	1333.13	1332.13	0.90253	72.7	1364.58	1363.58	0.99205
62.8	1303.26	1302.26	0.81845	67.8	1333.75	1332.75	0.90428	72.8	1365.22	1364.22	0.99388
62.9	1303.86	1302.86	0.82013	67.9	1334.37	1333.37	0.90604	72.9	1365.86	1364.86	0.99571
63.0	1304.46	1303.46	0.82181	68.0	1334.99	1333.99	0.90779	73.0	1366.50	1365.50	0.99754
63.1	1305.06	1304.06	0.82349	68.1	1335.61	1334.61	0.90955	73.1	1367.14	1366.14	0.99938
63.2	1305.66	1304.66	0.82518	68.2	1336.23	1335.23	0.91131	73.2	1367.78	1366.78	1.00121
63.3	1306.27	1305.26	0.82687	68.3	1336.85	1335.86	0.91307	73.3	1368.42	1367.42	1.00305
63.4	1306.87	1305.86	0.82855	68.4	1337.48	1336.48	0.91483	73.4	1369.06	1368.06	1.00489
63.5	1307.47	1306.47	0.83024	68.5	1338.10	1337.10	0.91660	73.5	1369.70	1368.70	1.00673
63.6	1308.07	1307.07	0.83193	68.6	1338.72	1337.72	0.91836	73.6	1370.34	1369.35	1.00857
63.7	1308.68	1307.67	0.83363	68.7	1339.34	1338.35	0.92013	73.7	1370.98	1369.99	1.01041
63.8	1309.28	1308.28	0.83532	68.8	1339.97	1338.97	0.92190	73.8	1371.63	1370.63	1.01226
63.9	1309.88	1308.88	0.83702	68.9	1340.59	1339.59	0.92367	73.9	1372.27	1371.27	1.01411
64.0	1310.49	1309.49	0.83871	69.0	1341.22	1340.22	0.92544	74.0	1372.91	1371.92	1.01595
64.1	1311.09	1310.09	0.84041	69.1	1341.84	1340.84	0.92721	74.1	1373.56	1372.56	1.01780
64.2	1311.70	1310.70	0.84211	69.2	1342.46	1341.47	0.92899	74.2	1374.20	1373.21	1.01966
64.3	1312.31	1311.30	0.84381	69.3	1343.09	1342.09	0.93076	74.3	1374.84	1373.85	1.02151
64.4	1312.91	1311.91	0.84551	69.4	1343.72	1342.72	0.93254	74.4	1375.49	1374.50	1.02336
64.5	1313.52	1312.51	0.84722	69.5	1344.34	1343.34	0.93432	74.5	1376.13	1375.14	1.02522
64.6	1314.12	1313.12	0.84892	69.6	1344.97	1343.97	0.93610	74.6	1376.78	1375.79	1.02708
64.7	1314.73	1313.73	0.85063	69.7	1345.59	1344.60	0.93788	74.7	1377.43	1376.43	1.02894
64.8	1315.34	1314.34	0.85234	69.8	1346.22	1345.22	0.93966	74.8	1378.07	1377.08	1.03080
64.9	1315.95	1314.95	0.85405	69.9	1346.85	1345.85	0.94145	74.9	1378.72	1377.73	1.03266

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
75.0	1379.37	1378.37	1.03452	80.0	1412.20	1411.21	1.12976	85.0	1445.94	1444.95	1.22905
75.1	1380.01	1379.02	1.03639	80.1	1412.86	1411.88	1.13170	85.1	1446.62	1445.64	1.23107
75.2	1380.66	1379.67	1.03826	80.2	1413.53	1412.54	1.13365	85.2	1447.30	1446.32	1.23310
75.3	1381.31	1380.32	1.04013	80.3	1414.20	1413.21	1.13560	85.3	1447.99	1447.00	1.23513
75.4	1381.96	1380.97	1.04200	80.4	1414.86	1413.88	1.13755	85.4	1448.67	1447.69	1.23717
75.5	1382.61	1381.61	1.04387	80.5	1415.53	1414.54	1.13950	85.5	1449.36	1448.37	1.23920
75.6	1383.26	1382.26	1.04574	80.6	1416.20	1415.21	1.14146	85.6	1450.04	1449.06	1.24124
75.7	1383.91	1382.91	1.04762	80.7	1416.87	1415.88	1.14341	85.7	1450.73	1449.75	1.24327
75.8	1384.56	1383.56	1.04949	80.8	1417.54	1416.55	1.14537	85.8	1451.41	1450.43	1.24531
75.9	1385.21	1384.21	1.05137	80.9	1418.21	1417.22	1.14733	85.9	1452.10	1451.12	1.24735
76.0	1385.86	1384.87	1.05325	81.0	1418.87	1417.89	1.14929	86.0	1452.79	1451.80	1.24940
76.1	1386.51	1385.52	1.05513	81.1	1419.54	1418.56	1.15125	86.1	1453.47	1452.49	1.25144
76.2	1387.16	1386.17	1.05702	81.2	1420.21	1419.23	1.15321	86.2	1454.16	1453.18	1.25349
76.3	1387.81	1386.82	1.05890	81.3	1420.88	1419.90	1.15518	86.3	1454.85	1453.87	1.25553
76.4	1388.47	1387.47	1.06079	81.4	1421.56	1420.57	1.15715	86.4	1455.54	1454.56	1.25758
76.5	1389.12	1388.13	1.06268	81.5	1422.23	1421.24	1.15911	86.5	1456.23	1455.24	1.25963
76.6	1389.77	1388.78	1.06456	81.6	1422.90	1421.91	1.16108	86.6	1456.91	1455.93	1.26169
76.7	1390.42	1389.43	1.06646	81.7	1423.57	1422.58	1.16306	86.7	1457.60	1456.62	1.26374
76.8	1391.08	1390.09	1.06835	81.8	1424.24	1423.26	1.16503	86.8	1458.29	1457.31	1.26580
76.9	1391.73	1390.74	1.07024	81.9	1424.91	1423.93	1.16700	86.9	1458.98	1458.00	1.26786
77.0	1392.39	1391.40	1.07214	82.0	1425.59	1424.60	1.16898	87.0	1459.67	1458.69	1.26991
77.1	1393.04	1392.05	1.07404	82.1	1426.26	1425.27	1.17096	87.1	1460.36	1459.38	1.27198
77.2	1393.70	1392.71	1.07593	82.2	1426.93	1425.95	1.17294	87.2	1461.05	1460.07	1.27404
77.3	1394.35	1393.36	1.07784	82.3	1427.61	1426.62	1.17492	87.3	1461.74	1460.76	1.27610
77.4	1395.01	1394.02	1.07974	82.4	1428.28	1427.30	1.17690	87.4	1462.44	1461.45	1.27817
77.5	1395.67	1394.68	1.08164	82.5	1428.96	1427.97	1.17889	87.5	1463.13	1462.15	1.28024
77.6	1396.32	1395.33	1.08355	82.6	1429.63	1428.65	1.18088	87.6	1463.82	1462.84	1.28231
77.7	1396.98	1395.99	1.08545	82.7	1430.31	1429.32	1.18286	87.7	1464.51	1463.53	1.28438
77.8	1397.64	1396.65	1.08736	82.8	1430.98	1430.00	1.18485	87.8	1465.20	1464.22	1.28645
77.9	1398.30	1397.31	1.08927	82.9	1431.66	1430.67	1.18685	87.9	1465.90	1464.92	1.28852
78.0	1398.95	1397.96	1.09118	83.0	1432.34	1431.35	1.18884	88.0	1466.59	1465.61	1.29060
78.1	1399.61	1398.62	1.09310	83.1	1433.01	1432.03	1.19083	88.1	1467.28	1466.30	1.29268
78.2	1400.27	1399.28	1.09501	83.2	1433.69	1432.70	1.19283	88.2	1467.98	1467.00	1.29476
78.3	1400.93	1399.94	1.09693	83.3	1434.37	1433.38	1.19483	88.3	1468.67	1467.69	1.29684
78.4	1401.59	1400.60	1.09885	83.4	1435.04	1434.06	1.19683	88.4	1469.37	1468.39	1.29892
78.5	1402.25	1401.26	1.10077	83.5	1435.72	1434.74	1.19883	88.5	1470.06	1469.08	1.30100
78.6	1402.91	1401.92	1.10269	83.6	1436.40	1435.42	1.20083	88.6	1470.76	1469.78	1.30309
78.7	1403.57	1402.58	1.10461	83.7	1437.08	1436.09	1.20284	88.7	1471.45	1470.47	1.30518
78.8	1404.23	1403.24	1.10654	83.8	1437.76	1436.77	1.20484	88.8	1472.15	1471.17	1.30727
78.9	1404.90	1403.91	1.10846	83.9	1438.44	1437.45	1.20685	88.9	1472.84	1471.86	1.30936
79.0	1405.56	1404.57	1.11039	84.0	1439.12	1438.13	1.20886	89.0	1473.54	1472.56	1.31145
79.1	1406.22	1405.23	1.11232	84.1	1439.80	1438.81	1.21087	89.1	1474.24	1473.26	1.31354
79.2	1406.88	1405.89	1.11425	84.2	1440.48	1439.49	1.21288	89.2	1474.93	1473.95	1.31564
79.3	1407.55	1406.56	1.11618	84.3	1441.16	1440.18	1.21490	89.3	1475.63	1474.65	1.31774
79.4	1408.21	1407.22	1.11812	84.4	1441.84	1440.86	1.21691	89.4	1476.33	1475.35	1.31984
79.5	1408.87	1407.88	1.12005	84.5	1442.52	1441.54	1.21893	89.5	1477.03	1476.05	1.32194
79.6	1409.54	1408.55	1.12199	84.6	1443.20	1442.22	1.22095	89.6	1477.73	1476.75	1.32404
79.7	1410.20	1409.21	1.12393	84.7	1443.89	1442.90	1.22297	89.7	1478.42	1477.45	1.32615
79.8	1410.87	1409.88	1.12587	84.8	1444.57	1443.59	1.22499	89.8	1479.12	1478.14	1.32825
79.9	1411.53	1410.54	1.12781	84.9	1445.25	1444.27	1.22702	89.9	1479.82	1478.84	1.33036

w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³	w %	ρ kg/m ³	m_w/V kg/m ³	c g/cm ³
90.0	1480.52	1479.54	1.33247	92.0	1494.58	1493.60	1.37501	94.0	1508.75	1507.78	1.41823
90.1	1481.22	1480.24	1.33458	92.1	1495.28	1494.31	1.37716	94.1	1509.46	1508.49	1.42040
90.2	1481.92	1480.94	1.33669	92.2	1495.99	1495.01	1.37930	94.2	1510.18	1509.20	1.42259
90.3	1482.62	1481.64	1.33881	92.3	1496.70	1495.72	1.38145	94.3	1510.89	1509.91	1.42477
90.4	1483.32	1482.35	1.34092	92.4	1497.40	1496.43	1.38360	94.4	1511.60	1510.63	1.42695
90.5	1484.02	1483.05	1.34304	92.5	1498.11	1497.13	1.38575	94.5	1512.31	1511.34	1.42914
90.6	1484.73	1483.75	1.34516	92.6	1498.82	1497.84	1.38791	94.6	1513.03	1512.05	1.43132
90.7	1485.43	1484.45	1.34728	92.7	1499.53	1498.55	1.39006	94.7	1513.74	1512.77	1.43351
90.8	1486.13	1485.15	1.34941	92.8	1500.23	1499.26	1.39222	94.8	1514.45	1513.48	1.43570
90.9	1486.83	1485.85	1.35153	92.9	1500.94	1499.97	1.39437	94.9	1515.17	1514.19	1.43789
91.0	1487.53	1486.56	1.35366	93.0	1501.65	1500.68	1.39653	95.0	1515.88	1514.91	1.44009
91.1	1488.24	1487.26	1.35578	93.1	1502.36	1501.38	1.39870				
91.2	1488.94	1487.96	1.35791	93.2	1503.07	1502.09	1.40086				
91.3	1489.64	1488.67	1.36005	93.3	1503.78	1502.80	1.40302				
91.4	1490.35	1489.37	1.36218	93.4	1504.49	1503.51	1.40519				
91.5	1491.05	1490.08	1.36431	93.5	1505.20	1504.22	1.40736				
91.6	1491.76	1490.78	1.36645	93.6	1505.91	1504.93	1.40953				
91.7	1492.46	1491.49	1.36859	93.7	1506.62	1505.64	1.41170				
91.8	1493.17	1492.19	1.37073	93.8	1507.33	1506.36	1.41387				
91.9	1493.87	1492.90	1.37287	93.9	1508.04	1507.07	1.41605				

9.8. Anexo 7

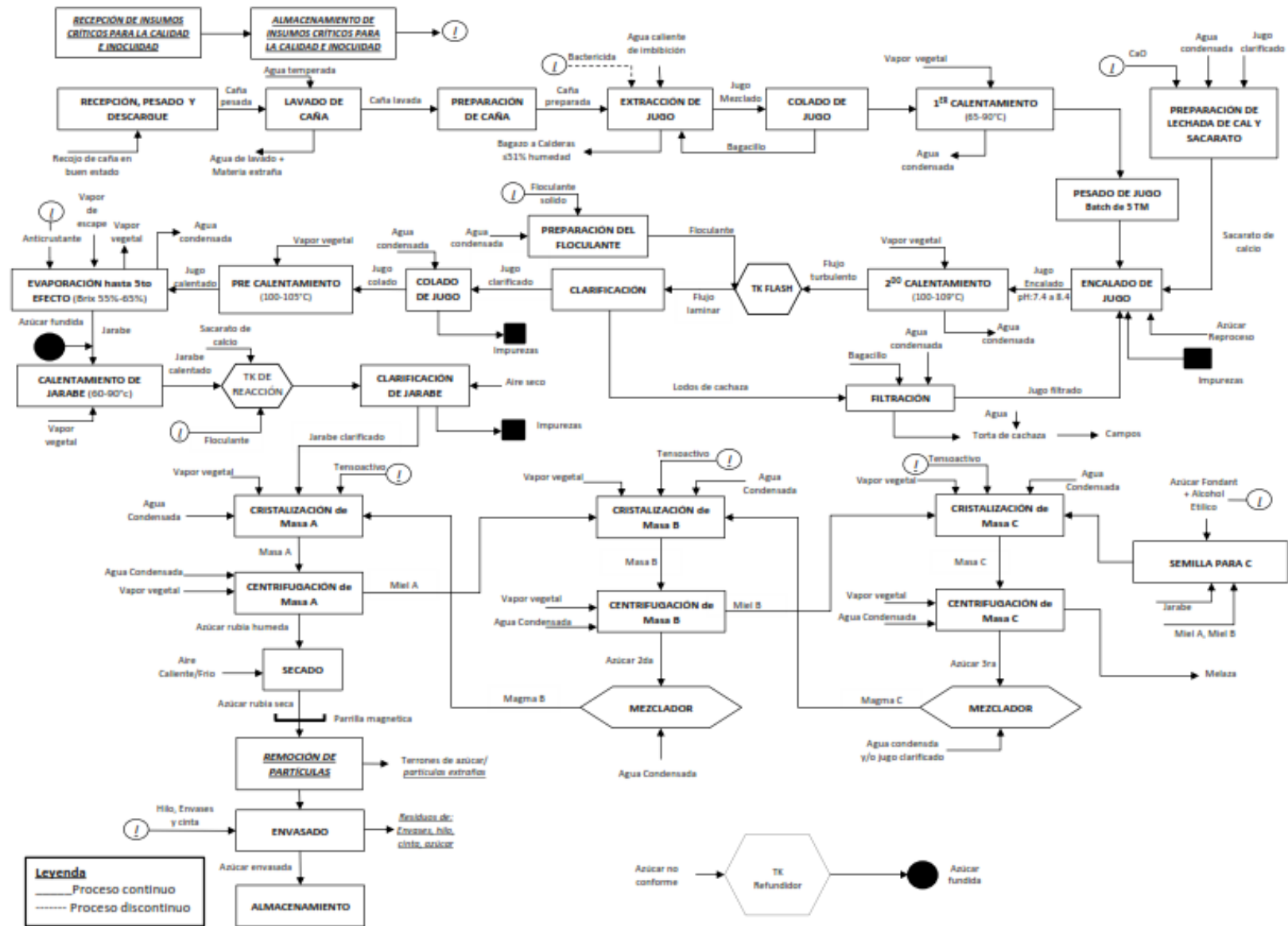


Figura 35: Diagrama de flujo para la producción de azúcar rubia – Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

9.9. Anexo 8

Especificaciones técnicas del floculante Lipesa 1538



LIPESA 1538 Z

POLÍMERO FLOCULANTE PARA CLARIFICACIÓN DE JUGO

- Rápida sedimentación de sólidos en el clarificador.
- Funciona en un amplio rango de pH: 1,0 – 12,0
- Mejora la filtración de la cachaza
- Excelente relación costo rendimiento.

Usos principales:

LIPESA 1538 Z es utilizado como un agente floculante en la clarificación del jugo en y en los filtros de cachaza y está especialmente diseñado para la clarificación mediante procesos de precipitación. LIPESA 1538 Z es un copolímero de acrilamida de muy alto peso molecular con grupos de acrilato, los cuales le dan al polímero carga negativa, y su carácter aniónico, en una solución acuosa. LIPESA 1538 Z cumple con los requisitos de la FDA, para uso en producción de azúcar refino bajo la Regulación Federal 21CFR 173.10

Descripción:

LIPESA 1538 Z es un copolímero de acrilamida con grupos de acrilato, medianamente aniónico y alto peso molecular, con las siguientes características:

Estado:	Sólido
Forma:	Gránulos de flujo libre
Color:	Blanco
pH (0,1 % peso - %) en agua:	7 – 8
Densidad (Kg/m ³):	600 - 800
Solubilidad:	Máximo 0,5 % en agua
Viscosidad:	Mínimo 2000 al 0,5 % en agua Mínimo 1000 al 0,25 % en agua Mínimo 300 al 0,1 % en agua
Residual de acrilamida:	< 0,05%

Dosis:

La dosis del LIPESA 1538 Z es de 1 – 12 ppm base jugo. LIPESA 1538 Z se utilice en forma de soluciones altamente diluidas (e.g. = 0,01 – 0,1 % por peso). En orden de preparar la solución para uso inmediato, se sugiere preparar soluciones al 0,1 % (peso/peso). Para grandes cantidades se recomienda utilizar equipos de disolución. Las soluciones deben prepararse de la siguiente forma:

60 Minutos agitación rápida

60 minutos maduración (Agitación lenta).

Modo de empleo y alimentación:

LIPESA 1538 Z incorpora grupos reactivos en solución acuosa, teniendo gran afinidad a las superficies de los precipitados de calcio de colores coagulados suspendidos en solución. Debido a su carga aniónica las reacciones entre el polímero y las partículas sólidas están basadas en interacciones electrostáticas e intercambio de cargas, resultando en la desestabilización de la superficie de la partícula. La desestabilización y la coagulación de un gran número de coloides precipitados individualmente resulta en la formación de flocos voluminosos, fáciles precipitar en el jugo. LIPESA 1538 Z efectúa la clarificación en pocos segundos, dejando un jugo clarificado brillante y parcialmente decolorado. Cuando se utiliza el LIPESA 1538 Z, se disminuye el tiempo de residencia en el clarificador, resultando en menores pérdidas de azúcar por degradación y un incremento considerable en la capacidad de la planta. LIPESA 1538 Z puede ser utilizado con todos los métodos conocidos de clarificación de azúcar que utilicen sistemas de precipitación.

Despacho y almacenamiento

El producto se despacha en sacos de 25 kg. netos y 750 Kg. Floculantes de alto peso molecular como el LIPESA 1538 Z normalmente son sensitivos a la humedad, tal como agua condensada, salpicaduras y humedad atmosférica. Contacto con agua (gotas) puede conllevar a la formación localizada de grumos. El producto debe, por lo tanto, ser almacenado en contenedores secos, cerrados y protegidos contra la humedad.

Vida útil bajo condiciones adecuadas de almacenamiento:

Producto granular en envase original:	aproximadamente 2 años
Soluciones madres (0,5 %) en agua de chorro:	aproximadamente 4 semanas (en nevera)
Soluciones para uso (0,1 %):	aproximadamente 1 día

Manejo y seguridad

Como con todo producto químico se debe evitar el contacto con la piel y ojos. No lo ingiera y evite inhalar sus vapores de manera continua o prolongada. En caso de contacto con la piel, lavar con abundante agua por 15 minutos. En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua por 15 minutos. Si hay irritación fuerte, acudir al médico.

ZD-08-13-DSG

Rev: 3

*"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdidas, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.
La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.
Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."*

LIPESA RIF: J-08010330-4

ENCUENTRO - 1.0.001 - 11/09/06

Product Sheet

SPECIAL APPLICATIONS



Composición

Copolimero de acrilamida y acrilato de sodio.

Propiedades

Aparencia a 20°C

- **Bozefloc® A 61 BT:** Polvo blanco
- **Bozefloc® A 41 BT:** Polvo blanco

Monómero de Acrilamida Libre (%):

- **Bozefloc® A 61 BT:** máx 0,05
- **Bozefloc® A 41 BT:** máx 0,05

Grado de hidrólisis

- **Bozefloc® A 61 BT:** 40%
- **Bozefloc® A 41 BT:** 40%

Peso Molecular

- **Bozefloc® A 61 BT:** 40 millones
- **Bozefloc® A 41 BT:** 30 millones

pH

- **Bozefloc® A 61 BT:** de 6.0 a 7.5
- **Bozefloc® A 41 BT:** de 6.0 a 7.5

Aplicación

Floculantes tipo **Bozefloc® A** son polímeros orgánicos de alto peso molecular provenientes de la polimerización de acrilamida con acrilato de sodio. Son productos con carácter aniónico que expone sus cargas negativas cuando está en solución acuosa.

Considerando tales características, **Bozefloc® A** es utilizado en el proceso de clarificación de caldo e flotación de jarabe en usinas así como, en flotación de licor en refinerías de azúcar, como agente floculante. El producto presenta un máximo 0,05% de monómero libre de acrilamida, siendo recomendado para el uso en industrias de alimentos conforme a **E.D.A., CFR título 21, sección 173.5.**

CLARIANT S.A.
BU ICS – Industrial Application

Av. Das Nações Unidas, 18001
04795-900
São Paulo – SP - Brasil

Karino Francesqui
Phone +55 (11) 5683-7696
Karino.Francesqui@clariant.com

COPYRIGHT ©
CLARIANT INTERNATIONAL LTD 2013

ISSUE
Ago 2013

ISSUE
Ago 2012

Modo de Acción

Los polímeros tipo **Bozefloc® A** incorporan grupos reactivos en solución acuosa, los cuales tienen una fuerte afinidad con la interfase de suspensiones coloidales o partículas finas presentes en medios acuosos o lamas.

Las interacciones entre **Bozefloc® A** y las partículas sólidas están basadas en fuerzas electrostáticas e intercambio de cargas que desestabilizan la interfase de las partículas, formando flocúlos voluminosos, que son fácilmente separados de la suspensión.

De esta forma, el efecto de **Bozefloc® A** está determinado principalmente por los potenciales activos en la interfase de las partículas, que, a su vez, son dependientes de las propias partículas y de las condiciones del medio, tales como: valor de pH, Conductividad eléctrica, dureza y presencia de surfactantes.

La actividad de **Bozefloc® A** como floculante en usinas e refinerías de azúcar depende básicamente del pH del medio, del peso molecular y del grado de hidrólisis del producto.

pH

El proceso de floculación consiste en una neutralización de las cargas eléctricas positivas de las partículas coloidales en suspensión con las cargas eléctricas negativas del producto floculante; por lo tanto, es fundamental que el medio no presente cargas que contribuyan a la neutralización del polímero. Luego, lo ideal es operar con un medio ligeramente ácido, esto es, pH entre 6,5 y 6,8.

Peso molecular

Considerando que la función del producto floculante en el proceso de coagulación es la separación de partículas, es fácil comprender la importancia de su peso molecular para su eficiencia. Teóricamente, cuanto mayor sea la cadena polimérica, mejor será la formación de flocúlos, por lo tanto, largas cadenas poliméricas serán quebradas con más facilidad por cizallamiento. De esta forma, la práctica muestra que polímeros con peso molecular entre 12 y 20.106 g/mol son los más eficientes cuando son aplicados en procesos de clarificación en usinas de azúcar.

Grado de hidrólisis

El grado de hidrólisis, expresa el porcentaje molar de monómero de acrilamida presente en el polímero y este representa la influencia en la floculación, ya que indica a intensidad de carga del polímero.

Dosificación

Los polímeros **Bozefloc® A** son usados en soluciones altamente diluidas, esto es, 0,1% en peso. Para producir esta solución, se puede inicialmente preparar una solución stock de 0,5% en peso, la cual será diluida más tarde para llegar a la concentración requerida. Alternativamente, se puede preparar directamente la solución de uso. En ambos casos, las soluciones requieren un tiempo de maduración mínimo de 60 minutos, durante el cual la solución debe ser mantenida con agitación suave para posibilitar una completa exposición de la carga polimérica.

Considerando la gran diferencia de las características de cada proceso, se deben realizar test de laboratorio y ensayos de planta para determinar la dosificación requerida para situaciones particulares. En tanto, para las condiciones de procesos de las industrias azucareras brasileras, se recomienda **Bozefloc® A 61 BT** para procesos de decantación en dosis de 1 a 2 gramos de producto por m³ de caldo a ser decantado, y **Bozefloc® A 41 BT** para procesos de flotación en dosis de 5 a 10 gramos de producto por m³ de caldo o jarabe a ser flotado.

Almacenamiento

Polímeros floculantes de alto peso molecular como **Bozefloc® A** son sensibles a la humedad atmosférica. El contacto con agua produce aglomeración del producto, por lo tanto, debe ser almacenado en envases cerrados y en lugares secos. La temperatura de al almacén no debe exceder los 45°C por largos períodos.

Estabilidad de Almacenamiento en Condiciones Ideales

- Producto en envase original: 2 años
- Solución stock 0,5% en agua: 4 semanas
- Solución de uso a 0,1% en agua: 1 día

Densidad:

0,780 g/cm³ (20 °C)

Presentación

Bozefloc® A es suministrado en sacos plásticos con 25 kg netos.

Informaciones para el transporte

Producto no peligroso.

Estas informações correspondem ao estado atual de nosso conhecimento, destinando-se à descrição geral de nossos produtos e suas possíveis aplicações. A Clariant não fornece nenhuma garantia, explícita ou implícita, quanto à precisão, adequação e suficiência das informações nem ausência de defeitos, e não assume nenhuma

responsabilidade relacionada a qualquer utilização das mesmas. Qualquer usuário deste produto é responsável por determinar a adequação dos produtos da Clariant à sua aplicação específica.* Nada incluso nestas informações constitui renúncia a qualquer dos Termos e Condições Gerais de Venda da Clariant, os quais são vigentes, a menos que pactuado de outra forma por escrito. Devem ser observados quaisquer direitos de propriedade intelectual/industrial existentes. Devido a possíveis alterações em nossos produtos e em leis e regulamentos aplicáveis, nacionais e internacionais, a condição de nossos produtos pode alterar-se. São disponibilizadas, mediante solicitação, Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos contendo precauções de segurança, as quais devem ser observadas na manipulação ou armazenamento dos produtos Clariant, que serão providenciadas em conformidade com a legislação aplicável. Deve-se obter e analisar as informações aplicáveis da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos antes de manipular qualquer desses produtos. Para maiores informações, contate a Clariant.

*Para vendas a clientes localizados nos Estados Unidos ou Canadá aplica-se adicionalmente a seguinte disposição:

NENHUMA GARANTIA EXPRESSA OU IMPLÍCITA É FORNECIDA SOBRE A COMERCIALIZAÇÃO, ADEQUAÇÃO E APTIDÃO PARA UM PROPÓSITO PARTICULAR OU DIFERENTE DE QUALQUER PRODUTO OU SERVIÇO.

9/2010

© Trademark registered in many countries and owned by Clariant
© 2013 Clariant International Ltd, Rothausstrasse 61, 4132 Muttenz, Switzerland



Clariant International Ltd A.

BU ICS – Industrial Applications

Av. Das Nações Unidas, 18001
04795-900
São Paulo – SP - Brasil

Karine Framesqui
Phone +55 (11) 5683-7696
Karine.Framesqui@clariant.com

COPYRIGHT ©
CLARIANT INTERNATIONAL LTD 2013

ISSUE
Dec 2013