

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE PROCESO PARA
OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO, CONCENTRADO EN
SACAROSA, A PARTIR DEL MANGO CRIOLLO *Mangifera indica*.**

PRESENTADO POR:

EDWIN MAURICIO LARA ROSALES

ROSA YAMILETH MEDINA HERRERA

CARLOS EDUARDO REYES RODRÍGUEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO:

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

Dra. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título:

**EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE PROCESO PARA
OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO, CON ALTO CONTENIDO DE
SACAROSA, A PARTIR DEL MANGO CRIOLLO *Mangifera indica*.**

Presentado por:

EDWIN MAURICIO LARA ROSALES

ROSA YAMILETH MEDINA HERRERA

CARLOS EDUARDO REYES RODRÍGUEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

Inga. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

Ciudad universitaria, julio 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

Inga. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

AGRADECIMIENTOS GENERALES:

Los autores desean agradecer a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este trabajo de graduación.

- Delmy Del Carmen Rico Peña, por haber sido la mejor maestra que tuvimos durante la carrera, por su calidad como docente, su competencia como profesional y su integridad como persona. Agradecemos el haber aceptado guiar nuestro trabajo de graduación.
- Ingenio El Ángel S.A de C.V, e Ing. German Molina por facilitar la realización de los análisis de sacarosa que hicieron posible la culminación de este trabajo.
- Bárbara Méndez y Daniel Arriola por compartir sus conocimientos acerca de la industria azucarera lo cual facilitó la realización del presente trabajo de graduación.
- Al Lic. Henry Hernández de la Facultad de Química y Farmacia por su colaboración en las mediciones refractométricas y polarimétricas de las muestras de jugo de mango.
- A la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, por facilitarnos el uso de la Planta Piloto y el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos.
- Ana Cecilia de Flamenco, por su entrega en la enseñanza y colaborar en el transcurso de la etapa de análisis de laboratorio.
- Al Señor Vice Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, PhD Edgar Peña, y al personal de la Facultad que cooperaron en delimitar los árboles que se tomaron como fuente de muestras.

AGRADECIMIENTOS POR EDWIN MAURICIO LARA ROSALES:

A mis padres, José Dolores Lara Tobar y María Cruz Rosales Ascencio de Lara, puesto que en algún momento van a leer esto, quiero que sepan que me siento muy satisfecho y agradecido por la vida que pudieron darme, a mi madre cuando por las noches se sentaba conmigo con el silabario a enseñarme a leer a mis 5 años, días antes de comenzar el primer grado, por las veces que estuve enfermo y me cuidó y sobre todo, por enseñarme valores con el ejemplo, cosa que me hace sentir muy orgulloso de la madre que me tocó. A mi padre, el hombre más trabajador que conozco, porque hace casi 8 años lo llamé una mañana para pedirle que si renunciaba a mi trabajo siendo bachiller para seguir estudiando y me dijo que era lo que él estaba esperando que le dijera, de haberme respondido otra cosa, definitivamente no estaría sentado en este momento escribiendo estas palabras. Quisiera citar todas las cosas por las que me siento agradecido con ellos que no cabrían en una hoja de papel, pero sepan que estoy muy agradecido con ambos y que los amo profundamente, espero verlos juntos pronto. ¡Gracias papá y mamá!. A mis hermanos William Lara y Diana Lara.

A la familia Brito Padilla, Don Jacobo Brito padre, Doña Ana Miriam Ramos de Torres, su hijo Alejandro Torres, Ingeniero Alejandro Torres (Quique), por ser un amigo tan leal y tan fraterno, recuerdo muy bien cuantas veces me ayudó siendo un estudiante más aventajado, siempre tuvo tiempo para ayudarme a entender lo que no podía por mi mismo en la carrera y porque siempre fui mal estudiante. Gracias Quique, has sido como un hermano.

Por último, a Yamileth y Eduardo, mis compañeros de tesis, quiero que sepan que les guardaré gratitud por haber compartido esta etapa de mi vida, para mí, esta carrera ha sido un viaje que me he tomado el tiempo de disfrutar, y su compañía estudiando, viajando y luchando ha sido todo un privilegio.

Si he llegado a ver más lejos que otros hombres, es porque que he estado de pie, sobre hombros de gigantes (Isaac Newton)

EDWIN MAURICIO LARA ROSALES

AGRADECIMIENTOS POR ROSA YAMILETH MEDINA HERRERA:

Agradezco a Dios por su infinita bondad, por estar siempre presente en mi vida, ayudándome a superar cada obstáculo venidero, y darme la fortaleza para poder llegar a la culminación de mis estudios universitarios.

A mi amada familia, por motivarme cada día a ser una mejor persona, brindarme su apoyo y amor en cada etapa de mi vida, pero especialmente, doy gracias a mi madre Ethel Aracely Herrera Escobar, por su dedicación y aliento, por haber cuidado tanto de mi bienestar físico y emocional.

Gracias a nuestra asesora Ing. Delmy del Carmen Rico Peña, por estar dispuesta a dirigir el curso del tema planteado desde el inicio, por sus aportes y apoyo al equipo, gracias a su capacidad para guiar las ideas y facilitar los medios para llevar a cabo todas las actividades desarrolladas a lo largo de estos meses.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis compañeros y amigos que hicieron de esta experiencia algo sumamente afable, especialmente a Laura Hernández, Oswaldo Castillo, Rodrigo Rivas, Gerardo Castaneda y Yamileth García; a mis compañeros de equipo Carlos Reyes y Edwin Lara, por su entrega y dedicación, por haber sobrellevado dicha tarea con mucha paciencia y buena actitud.

ROSA YAMILETH MEDINA HERRERA.

AGRADECIMIENTOS POR CARLOS EDUARDO REYES RODRÍGUEZ:

Estoy profundamente agradecido con mi familia por cuidarme y apoyarme siempre en especial a mi madre Nury Rodríguez gracias por todo lo que me has dado y enseñado, todo tu amor, comprensión, cariño y apoyo. Desde muy pequeño tu siempre has luchado por mí, has sido mi guía y modelo que seguir. Todo lo que soy es gracias a ti. A mi padre Jesús Reyes (QEPE) que gracias al camino que tú te forjaste lograste hacer más fácil el mío y dejaste un gran legado como persona que algún día espero igualar. A mi hermana Gabriela Reyes siempre me has brindado tu cariño, comprensión, me has cuidado y apoyado en mis decisiones y siempre estás para mí. A mi tío Carlos por siempre ser un gran apoyo y enseñarme tantas cosas.

Agradecimiento especial a la Inga. Delmy del Carmen Rico Peña por su asesoría en el trabajo de graduación, compartir su conocimiento y su paciencia.

Muchas gracias a Alejandro Miranda, Adriana Alfaro, Yamileth García, Michelle Alfaro, Kathya Villalobos, Maggie y Kelly Miranda por formar parte del grupo que estuvo conmigo en un gran porcentaje de la carrera, por darme asilo, cuidarme, alimentarme y apoyarme en todo lo que estuvo en sus manos hacer; les agradezco mucho sus consejos, su apoyo incondicional y compartir tantas aventuras conmigo que hicieron posible sobrellevar la carrera.

Muchas gracias a mis amigos y compañeros de fórmula Yamileth Medina y Edwin Lara porque este trabajo no hubiera sido posible sin ustedes, les agradezco profundamente su comprensión y paciencia mientras iniciaba mi vida laboral, tienen toda mi admiración y respeto.

Muy agradecido con Aleida Domínguez por tu cariño, comprensión y la paciencia que has tenido conmigo, por apoyarme e impulsarme a terminar el trabajo de graduación.

CARLOS EDUARDO REYES RODRÍGUEZ

RESUMEN

Se caracterizó el mango criollo, *Mangifera indica*, para evaluar la factibilidad técnica de utilizarlo como materia para la elaboración de jugo clarificado concentrado en azúcares, se caracterizaron y cuantificaron los azúcares presentes en la pulpa del mango criollo (glucosa, fructosa y sacarosa principalmente), por medio de técnicas polarimétricas, refractométricas y por cromatografía líquida de alta precisión (HPLC). Además, se da a conocer el proceso experimental realizado a nivel de laboratorio para la obtención de jugo clarificado por floculación con poliacrilamida y la concentración del mismo por evaporación.

La investigación se enfocó únicamente en el mango criollo, por ser ésta, la variedad mayormente disponible en El Salvador en huertos caseros, zonas verdes urbanas, zona rural y del cual se observa que su no aprovechamiento de cosecha es significativamente más alto que su consumo. El muestreo se realizó delimitando la recolección de muestras en el período de mayo a junio del año 2017, en árboles ubicados dentro del campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Además, se llevó a cabo una investigación de tipo bibliográfica, para obtener parámetros de referencia correspondientes a las características fisicoquímicas del mango criollo; para su posterior determinación experimental, que resultó ser en contenido promedio de azúcares totales (13.66%), glucosa (2.01%), fructosa (4.68%) sacarosa (6.97%), humedad (83.46%) y cenizas totales (0.36%).

A las muestras de mango recolectadas, se les realizó un proceso de separación de cáscara y pulpa, determinación de grados Brix, y dilución para luego someterlas a clarificación, variando los volúmenes finales de pulpa de mango diluida entre 150 ml a 250 ml; y la cantidad de poliacrilamida agregada entre 0.004 g a 0.010 g, para cada uno de los volúmenes de las diluciones formuladas.

Los grados Brix del jugo de mango clarificado variaron entre 2.0 °Brix y 4.0 °Brix, y mediante los análisis por HPLC, se obtuvieron valores de 1.51 g/100 mL a 2.66 g/100 mL, de azúcares totales, en las muestras así analizadas.

Finalmente se concentró por evaporación a nivel de laboratorio, el jugo clarificado, obteniéndose valores entre de 50 a 54 °Brix de jugo concentrado en azúcares.

Para la evaluación del rendimiento del proceso se realizaron balances de materia y energía; resultando los rendimientos de extracción entre 63.08% y 79.84% de azúcares totales respecto al contenido inicial de las mismas en el mango sin procesar. Además, se elaboró una propuesta de pre diseño del proceso de extracción, clarificación y concentración del jugo de mango criollo, para una escala de procesamiento de 100 kg de mango, con el correspondiente análisis de riesgos para evaluar las posibles amenazas, daños e impactos medioambientales del proceso pre-diseñado a escala industrial.

ÍNDICE DE CONTENIDO		Pág
INTRODUCCIÓN.....		01
CAPÍTULO I		
1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL FRUTO DEL MANGO		
CRIOLLO (<i>Mangifera indica</i>).....		02
1.1. CULTIVO Y COSECHA DE MANGO CRIOLLO EN EL SALVADOR.....		05
1.2. ZONAS POTENCIALES PARA CULTIVO DE MANGO EN EL SALVADOR.....		05
1.3. COSECHA DEL MANGO EN EL SALVADOR.....		06
1.4. GENERALIDADES DE LOS AZÚCARES CONTENIDOS EN EL MANGO: SACAROSA, FRUCTOSA Y GLUCOSA.....		09
1.4.1. GLUCOSA.....		10
1.4.2. FRUCTOSA.....		12
1.4.3. SACAROSA.....		13
1.5. TÉCNICAS DE CLARIFICACIÓN DE ZUMOS DE FRUTAS.....		16
1.5.1. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN.....		17
1.5.2. TEORÍA DE LA FLOCULACIÓN.....		20
1.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE ZUMO DE FRUTAS.....		23
1.6.1. REFRACTOMETRÍA.....		23
1.6.2. TEORÍA POLARIMÉTRICA.....		26
1.6.3. ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA PRESENTE EN JUGO CLARIFICADO POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA PRECISIÓN.....		29
CAPÍTULO II		
2. DETERMINACIÓN DE MARCHA EXPERIMENTAL PARA OBTENCIÓN DE JUGO DE MANGO CLARIFICADO A TRAVÉS DE PRUEBAS DE LABORATORIO		30
2.1. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....		30
2.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS SEGÚN DETERMINACIÓN VISUAL APARENTE DE ESTADO DE MADURACIÓN.....		32

ÍNDICE DE CONTENIDO	Pág
2.2.1. RECOLECCIÓN DE TRES MUESTRAS DE FRUTOS EN DOS ÁRBOLES DISTINTOS EN ESTADO DE MADUREZ MEDIA (SASÓN) Y MADUREZ COMPLETA CON REPETICIÓN A UNA SEMANA POSTERIOR.....	33
2.2.2. TIEMPOS PARA REALIZACIÓN DE MUESTREO DE MANGO CRIOLLO.....	37
2.3. PRUEBAS PRELIMINARES DE CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE MANGO.....	38
2.3.1. EXPERIMENTO 1 CLARIFICADO CON ALUMBRE $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	39
2.3.2. EXPERIMENTO 2: CARBÓN ACTIVADO (C).....	40
2.3.3. EXPERIMENTO 3: ÓXIDO DE ALUMINIO (Al_2O_3).....	41
2.3.4. EXPERIMENTO 4: POLIACRILAMIDA (C_3HNO) _n	44
2.3.5. RESULTADOS EN CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS IMPLEMENTADOS DURANTE LOS EXPERIMENTOS DE CLARIFICACIÓN DE JUGO DE MANGO.....	45

CAPITULO III

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA CLARIFICACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE JUGO DE MANGO.....	47
3.1. PREPARACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS DE MANGO CRIOLLO PARA SOMETER A PROCESO DE CLARIFICACIÓN.....	47
3.2. DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA OBTENCIÓN DE FÓRMULA DE CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE MANGO CON POLIACRILAMIDA COMO CLARIFICANTE.....	56
3.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE MANGO.....	59
3.3. RESULTADOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE (SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA) EN EL JUGO DE MANGO CLARIFICADO UTILIZANDO ANÁLISIS POR HPLC.....	66

ÍNDICE DE CONTENIDO	Pág
3.3.1 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCARES EN EL JUGO DE MANGO CLARIFICADO, A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR HPLC.....	66
3.3.2 PRESENCIA DE DEXTRANAS EN JUGO DE MANGO CLARIFICADO.....	68
3.4. PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO PARA CONCENTRACIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE MANGO CRIOLLO.....	69
3.4.1 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE MANGO CRIOLLO	71
3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE JUGO DE MANGO.....	73
3.5.1 RENDIMIENTO TEÓRICO DE SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA EN EL JUGO DE MANGO CLARIFICADO.....	74
3.5.2 CÁLCULO DE RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCARES RESPECTO DE LA CANTIDAD DE AZÚCARES TOTALES EN PULPA DE MANGO CRIOLLO.....	75

CAPITULO IV

4. DISEÑO PROPUESTO DE PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN SACAROSA, A PARTIR DE MANGO CRIOLLO.....	78
4.1. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN PROCESO DE OBTENCIÓN DE AZÚCARES EN JUGO DE MANGO.....	78
4.1.1 BALANCES DE MATERIA PARA PROCESO PROPUESTO DE OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN SACAROSA A PARTIR DE MANGO CRIOLLO.....	80
4.1.2 BALANCES DE ENERGÍA PARA PROCESO PROPUESTO DE OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN SACAROSA A PARTIR DE MANGO CRIOLLO.....	83

ÍNDICE DE CONTENIDO		Pág
4.1.3	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA PARA PROCESO DE CONCENTRACIÓN.....	86
4.2	ANÁLISIS DE RIESGOS PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO DE MANGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN AZÚCARES.....	89
4.2.1	ANÁLISIS FODA.....	90
4.2.2	METODOLGÍA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS FODA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO CONCENTRADO EN SACAROSA A PARTIR DE MANGO CRIOLLO.....	92
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES.....	95
	ACRÓNIMOS.....	97
	DEFINICIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99
	ANEXOS.....	102
	ANEXO A Hoja técnica de Poliacrilamida utilizada para clarificación de jugo de mango.....	103
	ANEXO B. Resultados obtenidos de contenido de azúcares en muestras seleccionadas de jugo de mango clarificado en análisis HPLC.....	104
	ANEXO C Equipo de laboratorio utilizado en las marchas experimentales para la obtención de jugo clarificado.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág
Tabla 1.1	Características químicas de cuatro variedades de mango crecidas en las costas del Estado de Guerrero, México.....	04
Tabla 1.2	Composición química del mango. Los valores de los nutrientes y pesos son para una porción comestible de 100g de pulpa.....	04
Tabla 1.3	Superficie, producción y rendimiento de diferentes cultivos en El Salvador.....	09
Tabla 1.4	Propiedades fisicoquímicas de la Glucosa, Fructosa y Sacarosa.....	10
Tabla 1.5	Índices de refracción de soluciones de glucosa, fructosa y sacarosa a 20° C.....	25
Tabla 2.1	Descripción de ubicación de árboles de mango utilizados para muestreo.....	31
Tabla 2.2	Descripción de muestreos de mango realizados dentro de las instalaciones de Universidad de El Salvador.....	37
Tabla 2.3	Propiedades y usos de clarificantes utilizados en pruebas preliminares para el jugo de mango.....	38
Tabla 2.4	Resumen de observaciones preliminares de clarificación de jugo de mango.....	45
Tabla 3.1	Tiempo promedio que tarda el menisco del jugo clarificado en pasar entre los puntos a y b de la figura 3.3.....	51
Tabla 3.2	Densidades de las diferentes pruebas del jugo de mango clarificado.....	52
Tabla 3.3	Niveles de factores experimentales y variable de respuesta para las muestras de jugo clarificado de mango.....	58
Tabla 3.4	Tabla de valores iniciales y finales obtenidos experimentalmente para el diseño factorial 3 ² de las muestras de jugo clarificado de mango criollo, utilizando poliacrilamida como agente clarificante.....	58

Tabla	Descripción	Pág
Tabla 3.5	Tabulación de datos experimentales de jugo de mango clarificado para iniciar análisis estadístico de varianza.....	60
Tabla 3.6	Análisis de varianza para evaluar la significación de los volúmenes finales y concentración de poliacrilamida.....	63
Tabla 3.7	Resultados obtenidos en análisis de azúcares por HPLC de muestra de jugo clarificado de mango criollo.....	66
Tabla 3.8	Concentraciones en peso de las muestras analizadas de jugo clarificado de mango criollo.....	67
Tabla 3.9	Resultados de experimento de concentración por evaporación de jugo clarificado de mango.....	72
Tabla 3.10	Comparación de los datos teóricos vs datos obtenidos experimentalmente para el mango criollo crudo.....	73
Tabla 3.11	Contenido de azúcares totales en mango.....	74
Tabla 3.12	Rendimiento de extracción de azúcares respecto de azucares totales en pulpa de mango	77
Tabla 4.1	Composición promedio determinada del mango.....	80
Tabla 4.2	Etapas de despulpado y macerado de mangos criollos.....	80
Tabla 4.3	Etapas de extracción de azucares de pulpa macerada de mango...	81
Tabla 4.4	Etapas de clarificación de jugo de mango utilizando poliacrilamida.	82
Tabla 4.5	Etapas de filtrado de jugo clarificado de mango criollo.....	83
Tabla 4.6	Consumos eléctricos para el proceso de obtención de jugo clarificado proveniente del mango.....	84
Tabla 4.7	Variables termodinámicas del agua.....	84
Tabla 4.8	Cambio de condiciones para clarificación de jugo de mango.....	85
Tabla 4.9	Análisis FODA para la obtención de jugo clarificado concentrado en Azúcares a partir del mango criollo.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág
Figura 1.1	Mapa de la distribución del cultivo de mango.....	06
Figura 1.2	Plantas y frutos con antracnosis.....	08
Figura 1.3	Estructura molecular cíclica de la glucosa a la izquierda D-Glucosa y a la derecha L-Glucosa.....	11
Figura 1.4	Proyección Fisher para la glucosa, a la izquierda D-Glucosa y a la derecha L-Glucosa.....	11
Figura 1.5	Estructura molecular cíclica de la fructosa.....	13
Figura 1.6	Proyección Fisher para la fructosa.....	13
Figura 1.7	Arriba, tallo de remolacha azucarera, abajo, tallo de caña de azúcar.....	14
Figura 1.8	Molécula de sacarosa.....	15
Figura 1.9	Estabilidad de los coloides.....	18
Figura 1.10	Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.....	18
Figura 1.11	Enlace de partículas de lodo con cadenas de un floculante aniónico.....	21
Figura 1.12	Óxido de aluminio calidad reactivo con pureza de 98% utilizado en la investigación para la clarificación del jugo de mango.....	22
Figura 1.13	Fenómeno de refracción de la luz al cambiar de medio.....	23
Figura 1.14	Refractómetros utilizados para la medición de grados Brix, a la izquierda refractómetro portátil marca Extrech, a la derecha refractómetro, marca Bausch and Lomb, modelo Abee I3 utilizado en laboratorio Ingeniera Química FIA- UES.....	25
Figura 1.15	Mecanismo de polarización de luz monocromática por actividad óptica de sustancias en solución.....	26
Figura 1.16	Polarímetro de laboratorio para mediciones de rotación óptica Marca DR. STEEG AND REUTERS, modelo SR-6 , utilizado en laboratorio de Facultad de Química y Farmacia – UES.....	28
Figura 1.17	Esquema del proceso de análisis por HPLC.....	29
Figura 2.1	Árboles de mango criollo (indio) utilizados para el muestreo.....	31

Figura	Descripción	Pág
Figura 2.2	Fotografía del primer muestreo realizado el 16 de mayo de 2017.....	32
Figura 2.3	Diagrama de árbol para proceso de recolección de muestras y evaluación de rendimiento extracción de azúcares procedentes de pulpa vs pulpa más cáscara en árbol A y B.....	34
Figura 2.4	Diagrama de árbol para ilustrar el proceso de recolección de muestras para los frutos maduros, evaluación de composición química y balances de materia de proceso de clarificación de jugo de mango.....	35
Figura 2.5	Diagrama de árbol para ilustrar el proceso de recolección de muestras para los frutos sazones, evaluación de composición química y balances de materia de proceso de clarificación de jugo de mango.....	36
Figura 2.6	Preparación de Alumbre para obtención de polvo a partir de grumos.....	39
Figura 2.7	Ensayos de Laboratorio con Alumbre para clarificación de jugo de mango, utilizando ampollas de separación.....	40
Figura 2.8	Ensayo de laboratorio utilizando Carbón Activado para clarificación de jugo de mango.....	41
Figura 2.9	Oxido de Aluminio calidad industrial para ensayos de laboratorio de clarificación de jugo de mango.....	42
Figura 2.10	Práctica experimental de clarificación de jugo de mango utilizando Óxido de Aluminio. A la Izquierda, probetas con prueba experimental en reposo, a la derecha jugo de mango clarificado en bolsa de polietileno y jugo de mango clarificado ya centrifugado.....	42

Figura	Descripción	Pág
Figura 2.11	Probetas con clarificado de jugo de mango por medio de uso de Óxido de Aluminio, las tres probetas de la izquierda corresponden a ensayos usando solamente pulpa en la clarificación, las tres probetas de la derecha corresponden a ensayos utilizando pulpa y cáscara.....	43
Figura 2.12	Resultado de muestras sometidas a centrifugación para evaluar la posibilidad de una clarificación extra. A la izquierda, se observa la centrifuga y a la derecha, el jugo clarificado ya centrifugado.....	43
Figura 2.13	Pruebas de clarificado de jugo de mango con poliacrilamida con volumen total de, 250 ml, 200 ml y 150 ml de izquierda a derecha.....	44
Figura 2.14	Muestra de jugo de mango clarificado con poliacrilamida, volumen final 200ml y 40ppm de poliacrilamida.....	45
Figura 3.1	Diagrama de flujo del proceso de medición de grados Brix para pulpa de mango.....	48
Figura 3.2	Proceso de obtención de jugo clarificado a partir de mango, utilizando poliacrilamida como agente clarificante.....	49
Figura 3.3	Diagrama de viscosímetro de Ostwald.....	50
Figura 3.4	Viscosímetro utilizado en las pruebas de laboratorio marca CANNON FENSKE modelo 4368. Laboratorio de Ingeniería Química FIA-UES.....	51
Figura 3.5	Kit de colorimetría por comparación para medición de fosfatos en muestras de jugo de mango clarificado. A la izquierda reactivo Molibdato y a la derecha Cloruro de estaño.....	52
Figura 3.6	Preparación de muestras jugo de mango clarificado y formación de color azul para comparación.....	53
Figura 3.7	Comparación de colores para determinación de cantidad de Fosfatos en pulpa de mango.....	53

Figura	Descripción	Pág
Figura 3.8	Comparación de colores para determinación de cantidad de Fosfatos en jugo de mango clarificado.....	54
Figura 3.9	Diagrama de flujo general de procedimiento para determinación de contenido de sacarosa utilizando HPLC.....	56
Figura 3.10	Muestras de jugo de mango clarificado utilizando poliacrilamida, con volúmenes finales de 150, 200 y 250 ml respectivamente....	57
Figura 3.11	Viscosidad de las soluciones de jugo de mango clarificado, la flecha verde indica el experimento con formulación óptima entre las variables de respuesta.....	59
Figura 3.12	Gráfico de normalidad de los residuos (RES1), aplicados a los datos experimentales de jugo de mango clarificado.....	61
Figura 3.13	Gráfico de igualdad de las varianzas y valores de Bartlett y P-Value para los resultados experimentales obtenidos del jugo de mango clarificado.....	62
Figura 3.14	Resultados de prueba de Tukey aplicados a datos experimentales obtenidos del jugo de mango clarificado.....	65
Figura 3.15	Baño de maría utilizado para concentrar el jugo de mango clarificado.....	69
Figura 3.16	Diagrama Elevación del punto de ebullición solución de sacarosa.....	70
Figura 3.17	Ensayo de laboratorio para obtención del jugo de mango concentrado a partir de jugo clarificado de mango.....	71
Figura 3.18	Jugo concentrado en sacarosa obtenido por evaporación de jugo clarificado, izquierda, jugo concentrado a 50.4°Bx, derecha, jugo concentrado a 54.4°Bx.....	72
Figura 4.1	Bosquejo de planta productora de jugo de mango clarificado concentrado en azúcares a partir de mango criollo.....	79
Figura 4.2	Cambio de estado termodinámico del agua empleada en proceso de concentración de jugo de mango clarificado.....	85

Figura	Descripción	Pág
Figura 4.3	Esquema de evaporación de agua para concentración de jugo de mango clarificado.....	86
Figura 4.4	Matriz de Evaluación de Riesgos para el proceso de obtención de jugo de mango concentrado en azúcares.....	90
Figura 4.5	Matriz FODA.....	91

INTRODUCCIÓN

El mango criollo (también conocido como mango indio) es una fruta tropical introducida al continente americano proveniente de la india, de sabor dulce y de presencia masiva en las regiones silvestres y también significativa en entornos urbanos de todo el trópico. Según estudios de composición y bases de datos de nutrientes de alimentos de la USDA (United States Department of Agriculture) para el año 2016, el contenido total de azúcares en el mango criollo es de aproximadamente 13.66%, los cuales corresponden al 6.67 % de sacarosa, 2.01% de glucosa y 4.68% de fructosa.

Según se ha determinado experimentalmente, para el mango criollo, el contenido de materia comestible (pulpa) es aproximadamente 56.3% peso, particularidad que confiere al fruto un alto contenido de materia prima que puede ser aprovechada; por otro lado, a parte de la pulpa, la cáscara también será abordada en la investigación, para determinar las interferencias que podrían presentarse al realizar un procesamiento de pulpa y cáscara. El resto del fruto no representa mayor interés para la investigación.

Con un adecuado proceso de extracción de azúcares constitutivos en la pulpa del mango criollo, puede obtenerse un jugo clarificado con alta concentración de sacarosa, glucosa y fructosa, los cuales representan a los edulcorantes de mayor presencia en industrias de alimentos y bebidas.

El proceso para obtención de jugo clarificado concentrado en azúcares, a partir del mango, sería innovador desde las etapas de despulpado hasta la obtención del jugo clarificado, dado que, teniendo este producto intermedio en este último estadio, podría ser base para el desarrollo de un proceso industrial enfocado a la producción de jugo clarificado concentrado en azúcares.

CAPÍTULO I

1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL FRUTO DEL MANGO CRIOLLO (*Mangifera indica*)

El proceso de maduración del mango está gobernado bajo una serie de reacciones bioquímicas al interior del fruto que se caracterizan por cambios en la textura, color, en el contenido de azúcares, ácidos, ésteres entre otros. Las sustancias acumuladas durante el desarrollo se transforman de manera lenta y progresiva hasta que el fruto alcanza las condiciones de aroma y humedad que caracterizan a su madurez.

Este comportamiento fisicoquímico está gobernado por un proceso fisiológico que se llama maduración, el cual experimentan todas las frutas. La recolección de los mangos se realiza en estado inmaduro organolépticamente, pero fisiológicamente maduros, es decir en este punto el mango ya ha crecido y desarrollado lo suficiente, pero sus aromas y sabores característicos aún no se han desarrollado. El mango después de cosechado verde y a medida que va madurando exhibe una disminución en el contenido de almidón y una serie de cambios en el color de la pulpa y la cáscara. En la mayoría de las variedades estos cambios van acompañados por una disminución de la fuerza de ruptura de la cáscara, aumento de los sólidos solubles y una disminución de la acidez. El etileno (C_2H_4) que se encuentra presente en la planta y en el fruto juega el rol más importante en los procesos de maduración de las frutas climatéricas. Los parámetros de maduración tales como el ablandamiento, el cambio de color y la producción de aromas y sabores dependen potencialmente de la producción de etileno (CENTA, 2002).

La maduración del mango se caracteriza por una serie de transformaciones químicas que determinan los cambios de sabor, color y aroma. Las sustancias acumuladas durante el desarrollo se transforman de manera lenta y progresiva en compuestos químicos que en su mayoría son de alto peso molecular como lo son los polisacáridos, además de los pigmentos característicos de cada fruto.

El crecimiento y la maduración fisiológica de la fruta solo se completan cuando permanece unida a la planta de la cual procede, pero la madurez organoléptica y la senescencia pueden proseguir una vez separada de la planta. Cuando el fruto es separado de la planta se interrumpe la síntesis de Adenosín trifosfato o “ATP” (del inglés “adenosine triphosphate”) y el flujo de nutrientes por tanto el fruto comienza a hidrolizar los polímeros para obtener compuestos de alto peso molecular y así poder efectuar metabolismo por respiración (Wall-Medrano, 2014).

Después de haber alcanzado la madurez fisiológica, el fruto del mango está disponible para la cosecha, es en ese momento que se aumenta la producción de etileno, con ello la síntesis de enzimas hidrolíticas produce una serie de cambios en el fruto como lo son: pérdida de textura, cambio de color, aumento de los grados Brix, pérdida de acidez, entre otras. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que después de cosechado, el fruto continúa respirando. Esto se demuestra por la producción masiva de dióxido de carbono acompañado de la combustión interna de glucosa y de metabolitos energéticos. La mayoría de compuestos de bajo peso molecular como los ácidos son producidos a partir de la síntesis de acetil coenzima A, la cual se produce por la degradación de carbohidratos, lípidos o aminoácidos. Los sólidos solubles son quizás uno de los parámetros fisicoquímicos de mayor interés en los procesos de maduración, ya que gracias a la hidrólisis de los almidones ocurrida en ayuda de las amilasas propias del fruto, se comienza a liberar una gran cantidad de moléculas de glucosa que hacen que el fruto aumente en la cantidad de sólidos solubles lo cual se ve reflejado en el aumento de los grados Brix, provocando que el fruto se vuelva más dulce, por ende más apetecible al consumidor, pero a su vez se hace más atractivo para bacterias, roedores e insectos (Quintero, Giraldo, y A. J., 2013).

Según la revista Fitotécnica mexicana en su publicación de Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en las costas del Estado de Guerrero, México (Astudillo, et al, 2016), explican de manera general las propiedades que midieron a diferentes variedades de mango como Ataulfo, Manila, Irwin y Criollo de las cuales se pueden destacar los valores que fueron reportados

para el mango criollo que es la variedad de interés en la investigación (tabla 1.1) destacándose para el mango criollo, un peso promedio de fruta de 153.8g.

Tabla 1.1 Características químicas de cuatro variedades de mango crecidas en las costas del Estado de Guerrero, México

Factor	SST	Humedad	Cenizas	Peso promedio
	(°Brix)	(%)	(%)	(g)
Astaulfo	9.5	82.4	0.5	387.8
Manila	11.3	69.3	0.4	229.6
Criollo	10.7	60.3	0.4	153.8
Irwin	8.5	68.0	0.4	297.0

Fuente: (Astudillo, et al, 2016)

La Tabla 1.2 muestra información del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en diversos estudios sobre el mango criollo que ha logrado reportar una tabla de su composición química detallando los valores de sus componentes, en donde para interés de este estudio se tienen valores de azúcares totales del 13.66% peso , 6.97% peso para sacarosa, 4.68% para la fructosa y 2.01% de glucosa (USDA, 2016)

Tabla 1.2 Composición química del mango. Los valores de los nutrientes y pesos son para una porción comestible de 100g de pulpa.

NUTRIENTE	FÓRMULA MOLECULAR	UNIDAD	VALOR POR 100 g
Agua	H ₂ O	G	83.46
Energía		Kcal	60
Energía		Kj	250
Fibras, dieta total		G	1.6
Proteínas		G	0.82
Total lípidos (grasa)		G	0.38
Cenizas		G	0.36
Carbohidratos, por diferencia		G	14.98
Azúcares, totales		G	13.66
Sacarosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	G	6.97
Glucosa (dextrosa)	C ₆ H ₁₂ O ₆	G	2.01
Fructosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	G	4.68
Lactosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	G	0
Maltosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	G	0
Galactosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	G	0
Minerales			
Calcio	Ca	mg	11

Pasa a la siguiente página

Tabla 1.2 a Composición química del mango. Los valores de los nutrientes y pesos son para una porción comestible de 100g de pulpa.

NUTRIENTE	FÓRMULA MOLECULAR	UNIDAD	VALOR POR 100 g
Hierro	Fe	Mg	0.16
Magnesio	Mg	Mg	10
Fósforo	P	mg	14
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	Ppm	4290
Potasio	K	Mg	168
Sodio	Na	Mg	1
Zinc	Zn	mg	0.09
Cobre	Cu	Mg	0.111
Manganeso	Mn	Mg	0.063

Fuente: (USDA, 2016)

Experimentalmente se determinó que el peso promedio de la semilla del mango en 30.55g puesto que este valor no se encontró disponible en la bibliografía.

1.1. CULTIVO Y COSECHA DE MANGO CRIOLLO EN EL SALVADOR

El cultivo del mango es por excelencia una planta adaptada a las condiciones tropicales o subtropicales, debido principalmente a su susceptibilidad al frío, temperaturas próximas a 0°C dañan seriamente los brotes y estancan el crecimiento, temperaturas menores a los 0°C dañan seriamente a las plantas adultas y matan las jóvenes, el clima influye en el momento de la floración y principalmente en la época de la maduración y cosecha. La altura recomendada para la siembra del mango es de 0 a 250 msnm, con temperaturas que oscilan entre 25 a 30°C y una precipitación pluvial promedio anual de 1,000mm.

- a) **TOPOGRAFÍA:** Plana a ondulada, no muy accidentada o quebrada.
- b) **SUELOS:** Se considera poco exigente al encontrarsele vegetando en buenas condiciones en gran variedad de suelos e incluso aquellos en que otros frutales fracasarían, es exigente a drenajes ya que en terrenos muy húmedos el cultivo puede tolerarlos pero no fructificará o lo hará con problemas, se adapta bien en suelos ligeros o pesados no adaptándose a suelos pedregosos y poco profundos, prospera bien en suelos francos medianamente profundos.

1.2. ZONAS POTENCIALES PARA CULTIVO DE MANGO EN EL SALVADOR

El mango prefiere un clima cálido y seco, que se encuentra desde la zona costera del oriente, centro y occidente de El Salvador hasta zonas de media altura (800

msnm) con una temperatura de 26°C a 32°C y una precipitación promedio de 1000 a 1500mm.

La distribución del cultivo de mango en El Salvador puede observarse en la Figura 1.1, se presenta en puntos de color rojo las zonas de cultivo de las diferentes clases de mango presentes en El Salvador. Evidenciando que la mayor producción de mango a nivel nacional se concentra en las zonas central y paracentral.

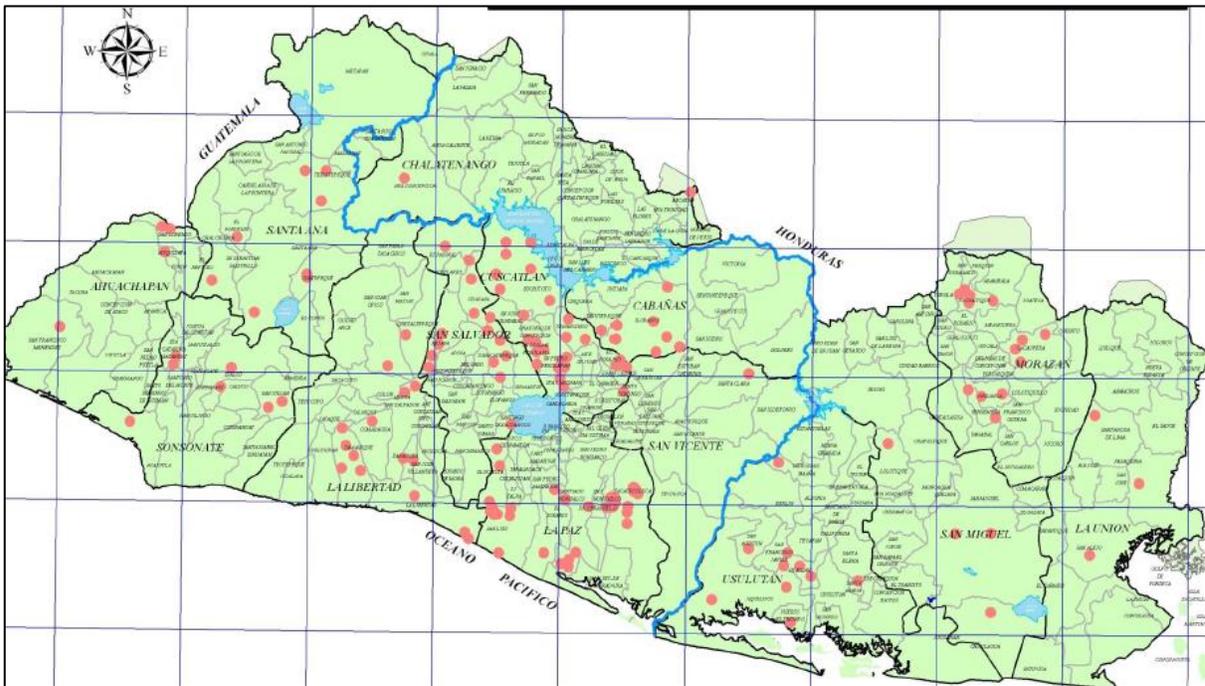


Figura 1.1 Mapa de la distribución del cultivo de mango
Fuente: (MAG, 2008)

1.3. COSECHA DEL MANGO EN EL SALVADOR

El fruto de mango requiere de 105 a 140 días para alcanzar la madurez fisiológica a partir del cuaje. En nuestro medio las variedades criollas son precoces y producen desde diciembre hasta abril, y las variedades mejoradas producen durante abril y agosto. El fruto cosechado es perecedero, acelerándose este proceso por mal manejo del fruto (Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA, 2002).

a) ÍNDICE DE COSECHA DEL MANGO

La realización del corte en el momento adecuado es de gran importancia, ya que se afecta la calidad del fruto y la vida de la post-cosecha. La cosecha debe efectuarse antes de que alcance el punto climatérico, ya que los frutos que maduran en el árbol son de un aroma inferior y poco resistente al transporte.

Existen algunas características visuales que pueden ser empleados para determinar el punto de corte en algunas variedades y tipos:

- Inicio de la coloración amarilla en el extremo inferior de la fruta.
- Formación de cavidad en la base del pedúnculo.

En la mayoría de las variedades de mango al llegar a su madurez fisiológica, la pulpa se vuelve amarilla, y puede determinarse fácilmente al rebanar la pulpa de unas cuantas frutas, de ahí que éste puede ser un factor guía para su cosecha.

b) SISTEMAS DE RECOLECCIÓN

La recolección es conveniente hacerla con escalera tipo A y una vara que en su extremo tenga una bolsa provista de una cuchilla para cortar el pedúnculo del fruto. Es aconsejable cortar los pecíolos adheridos a la fruta, no apilar los frutos, lavarlos, secarlos y acomodarlos cuidadosamente en cajas de madera, plásticas o cartón previamente ventilados.

c) MANEJO POST COSECHA

Las pérdidas en el manejo de post-cosecha del mango alcanzan grandes proporciones, debido principalmente a la descomposición microbiana de origen fungoso y bacteriano. La enfermedad más destructiva de los mangos es la antracnosis, *Colletotrichum gloeosporioides penz*, que se presenta como manchas pardo oscuras o negras en los frutos (Ver Figura 1.2). Existen otros hongos que causan pudriciones o desarrollan manchas negras en la superficie del mango, asimismo algunas bacterias causan manchas

necróticas en el fruto. El deterioro de la calidad del fruto por ataques fúngicos, puede prevenirse o controlarse en ciertos límites, mediante la aplicación de fungicidas en pre o en post cosecha, aunque últimamente se ha encontrado que el tratamiento con agua caliente en pos cosecha es muy efectivo para controlar antracnosis, así como para otras enfermedades fúngicas.

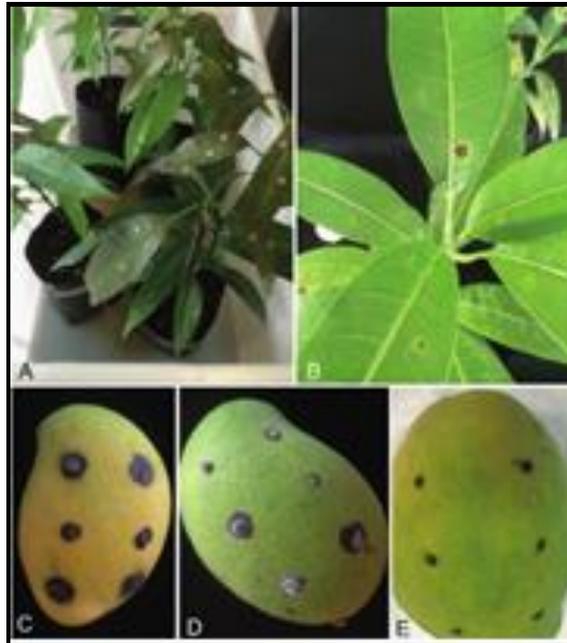


Figura 1.2 Plantas y frutos con antracnosis.

Fuente: (Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA, 2002)

Según el Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2015-2016 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016), en El Salvador, para el mango se reportó una superficie cultivada de 3,277mz, produciendo un volumen de 485,958 qq de mango, obteniendo un rendimiento de 148.3 unidades por cada mz cultivada (ver Tabla 1.3)

Tabla 1.3 Superficie, producción y rendimiento de diferentes cultivos en El Salvador.

CULTIVO	SUPERFICIE (Mz)	PRODUCCIÓN		RENDIMIENTO (UNIDAD/Mz)
		VOLUMEN	UNIDAD	
Caña de azúcar para azúcar	116,297	6,578,486	T. corta	56.6
Caña de azúcar para panela	858	33,346	T. corta	38.9
Caña de azúcar para semilla	2,907	164,536	T. corta	56.6
Caña de azúcar para otros usos	301	11,882	T. corta	39.5
Guayaba	384	135,149	Quintal	352.0
Coco	4,764	1,978,990	Quintal	415.4
Jocote	2,542	279,011	Quintal	109.7
Mango	3,277	485,985	Quintal	148.3
Naranja	3,093	1,474,453	Quintal	476.7
Papaya	245	133,829	Quintal	545.4
Plátano	3,238	779,554	Quintal	240.7

Fuente: (MAG, 2016)

1.4. GENERALIDADES DE LOS AZÚCARES CONTENIDOS EN EL MANGO: SACAROSA, FRUCTOSA Y GLUCOSA

Los azúcares pertenecen a la familia de los carbohidratos y poseen de tres a siete átomos de carbono, se denominan sistemáticamente dependiendo del número de átomos de carbono que posee la cadena carbonada, por ejemplo: la triosa posee tres carbonos y la heptosa posee siete carbonos (Bruice, 2007).

Los carbohidratos son compuestos con fórmulas moleculares del tipo $C_n(H_2O)_m$. Los azúcares pueden presentarse de tres maneras, como se explica a continuación:

a) MONOSACÁRIDOS:

Estos azúcares no pueden ser hidrolizados a compuestos más simples, en el grupo de los monosacáridos se encuentran la Fructosa y la Glucosa.

b) DISACÁRIDOS:

Poseen dos monosacáridos unidos, puede hidrolizarse para dar como resultado los dos monosacáridos de origen. Ejemplo: la sacarosa, la cual está formada por una molécula de glucosa y una molécula de fructosa.

c) OLIGOSACÁRIDOS:

Compuestos que poseen de tres a diez monosacáridos.

d) POLISACÁRIDOS:

Carbohidratos que poseen más de diez monosacáridos y pueden hidrolizarse dando como resultado gran número unidades de monosacáridos, además

son considerados biopolímeros dado que se dan de forma natural. Ejemplo: el almidón, formado por varias moléculas de glucosa.

La sacarosa, fructosa y glucosa, forman parte del grupo de compuestos orgánicos denominados hidratos de carbono o carbohidratos, y se encuentran presentes en la mayoría de las hojas, frutos, semillas, tallos y raíces de las plantas, y representan más del 50% del peso seco de la biomasa existente en el planeta (Bruice, 2007).

En la tabla 1.4 se presentan las propiedades físicas de la fructosa, glucosa y sacarosa.

Tabla 1.4 Propiedades fisicoquímicas de la Glucosa, Fructosa y Sacarosa

	GLUCOSA	FRUCTOSA	SACAROSA
Masa molar	180.06 g/mol	180.16 g/mol	342.2975g/mol
Punto de fusión	α -D-glucosa: 146 °C β -D-glucosa: 150 °C	103 °C	186°C
Punto de descomposición	500°C	185.85 °C	186°C
Densidad a 20°C	1540 kg/m ³	1587 kg/m ³	1586kg/m ³
Solubilidad en agua a 20°C	900 kg/ m ³	3750 kg/ m ³	203.9g/100ml
Rotación específica	α =[+53°]	α =[-92°]	α =[+66.4°]

Fuente: (Wade, 2004)

1.4.1. GLUCOSA

Nombre correspondiente al carbohidrato asociado con la cantidad de azúcar proveniente de los alimentos, que el cuerpo humano puede absorber. La glucosa funciona como una fuente de energía para el correcto funcionamiento de las estructuras fisiológicas de muchos seres vivos; la glucosa juega un papel importante en la salud de los seres humanos, dado que, al oxidarse durante las fases del metabolismo, se produce, agua, dióxido de carbono y energía. Un aumento o disminución repentina de ésta ocasionado por enfermedades como la diabetes puede detener consecuencias fatales aún por episodios de pocos minutos de duración.

La aldohexosa o comúnmente llamada glucosa, cuya fórmula molecular es $C_6H_{12}O_6$, es una aldosa o aldehído polihidroxi, llamadas así por presentar en su estructura molecular un grupo aldehído, posee seis átomos de carbono, y es el carbohidrato más abundante en la naturaleza, dado que las plantas la producen mediante la fotosíntesis, las plantas sintetizan glucosa y oxígeno a partir del agua contenida en sus tallos y el dióxido de carbono que se encuentra en su entorno (Bruice, 2007).

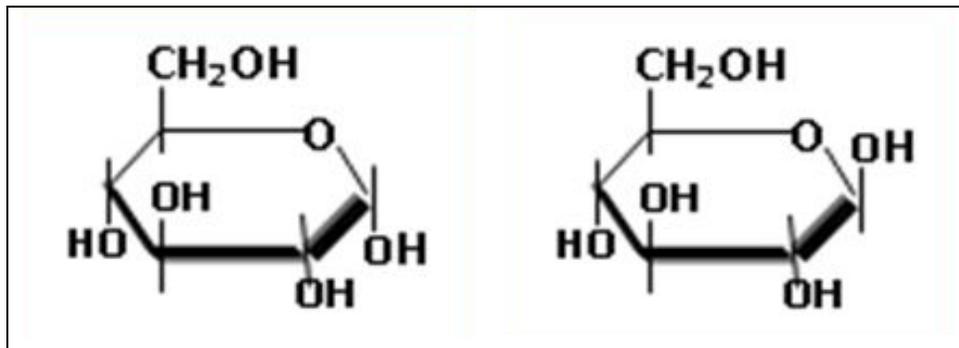


Figura 1.3 Estructura molecular cíclica de la glucosa a la izquierda D-Glucosa y a la derecha L-Glucosa.

Fuente: (Silva, 2016)

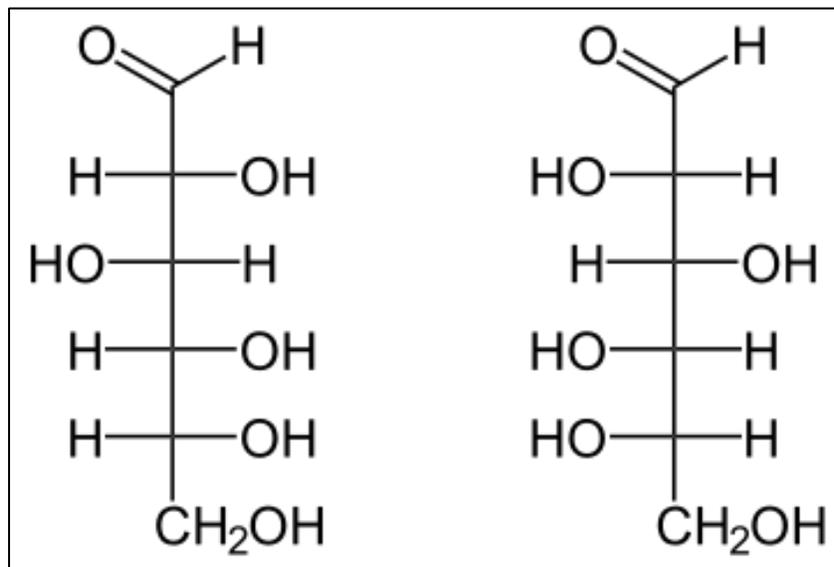


Figura 1.4 Proyección Fisher para la glucosa, a la izquierda D-Glucosa y a la derecha L-Glucosa.

Fuente: (Bruice, 2007)

La reacción de formación de glucosa por medio de fotosíntesis es la siguiente:



Inversamente la glucosa se descompone mediante una reacción de oxidación, la cual los organismos vivos llevan a cabo para la obtención de energía (Bruice, 2007)



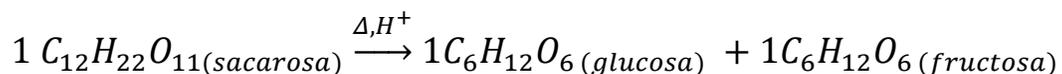
Reacción de oxidación de la glucosa

1.4.2. FRUCTOSA

Monosacárido que posee la misma fórmula molecular que la glucosa, a diferencia de la glucosa, la sacarosa posee un grupo cetona, lo que la convierte en una cetohexosa; es más dulce que la glucosa y comúnmente es utilizada como edulcorante para pacientes con diabetes. Podemos encontrar fructosa en frutos y vegetales, al igual que en la miel de abeja.

La fructosa es una cetohexosa, contiene un grupo cetona que la convierte en cetosa y "hexo" (del griego *hexa*, "seis") proveniente de sus seis átomos de carbono. La mayor parte de las cetosas, poseen el grupo cetona unido al segundo átomo de carbono de la cadena.

Al estar en contacto con agua se vuelve en estructura molecular cíclica, y es cuando la molécula se vuelve más estable. La molécula ciclada de fructosa, se denomina fructofuranosa por tener forma de pentágono. La fusión de una molécula de fructosa más una molécula de glucosa produce sacarosa, que comúnmente es llamada azúcar de mesa. Por otro lado, la fructosa puede formarse mediante la degradación de la glucosa, así como también durante el proceso de hidrólisis de la sacarosa, como se muestra a continuación.



Reacción de hidrólisis de la sacarosa (por acción de ión H^+ y calor)

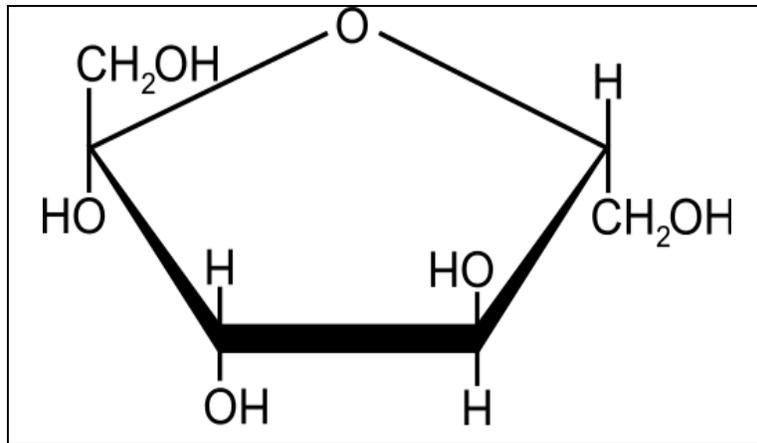


Figura 1.5 Estructura molecular cíclica de la fructosa.

Fuente: (Bruice, 2007)

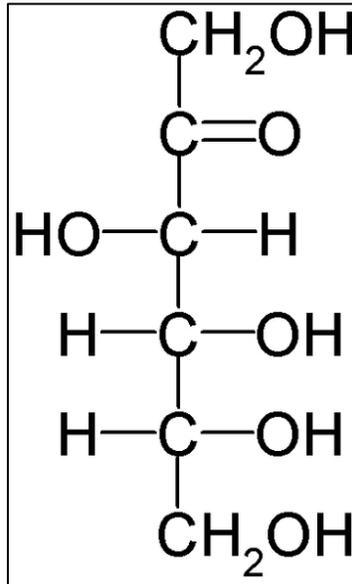


Figura 1.6 Proyección Fisher para la fructosa.

Fuente: (Bruice, 2007)

1.4.3. SACAROSA

La sacarosa es un compuesto altamente usado en la industria alimenticia de bebidas, postres, dulces, confites, chocolates, panadería, consumo doméstico, lácteos, alimentos preservados y el consumo doméstico como edulcorante, para el año 2016 se reportó un consumo mundial de 173.4 millones de TM (Statista, 2018).

Las fuentes industriales de obtención de sacarosa son la caña de azúcar y la remolacha azucarera, ambas plantas con considerable contenido de sacarosa estimado entre 14% y 16% en peso para la caña y entre 15% y 20% en peso para la remolacha. Ver figura 1.7.

El cultivo de caña de azúcar, propiamente de clima tropical requiere de abundante sol, terreno plano y clima cálido, por lo general cercano a las costas, su período de madurez es de aproximadamente 11 meses, mientras que la remolacha azucarera tolera muy bien el clima frío y templado, su período de crecimiento para explotación industrial es de aproximadamente 100 días.



Figura 1.7 Arriba, tallo de remolacha azucarera, abajo, tallo de caña de azúcar

Fuente: **(Anton, 2017)**

El consumo excesivo de sacarosa en dietas basadas en alimentos preparados, comida rápida, dulces y bebidas gaseosas está relacionado con problemas diabéticos a largo plazo, por los picos de insulina generados en la ingesta de grandes cantidades de azúcar, además de caries dental y obesidad por la acumulación de glucógeno como consecuencia de la ingesta de fructosa.

La sacarosa o azúcar de mesa está formada por una unidad de glucosa y una de fructosa enlazadas por un átomo de oxígeno que une a sus átomos de carbono anoméricos, el enlace entre ambos monosacáridos es α respecto del anillo de la glucosa y β respecto al anillo de fructosa.

La sacarosa es hidrolizada por enzimas en el tracto intestinal humano, por dilución con ácidos y por levaduras y por otras preparaciones de invertasa, descomponiéndola en D-glucosa y D-fructosa. La reacción es llamada “inversión” debido a que su propiedad de rotación específica en un polarímetro cambia de positivo a negativo, debido a la alta rotación negativa de la D-fructosa que se genera en la reacción (Joslyn, 1970).

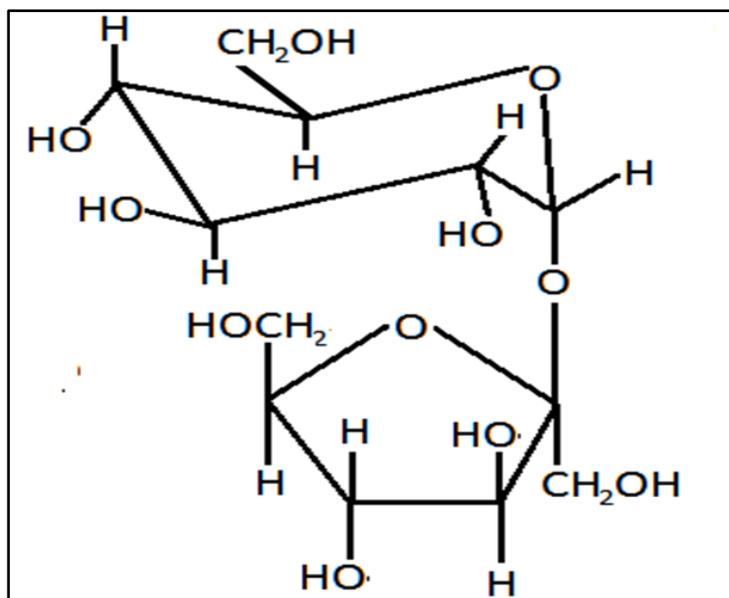


Figura 1.8 Molécula de sacarosa.

Fuente: (Wade, 2004)

Como es evidente en sus carbonos anómeros no existe ningún hidrógeno sustituible, por lo tanto, la sacarosa no puede ser oxidada por el reactivo de Tollens, por lo cual se clasifica como azúcar no reductor. Posee actividad óptica al igual que la glucosa y fructosa con una rotación específica de $\alpha=+66.4^\circ$. Sin embargo, en mezclas de sacarosa, glucosa y fructosa solo es posible cuantificar azúcares totales

directamente por medios físicos como gravimetría y refractometría. Cuantificar azúcares por separado directamente es posible actualmente solo por análisis de Cromatografía Líquida de Alta Precisión o HPLC.

1.5. TÉCNICAS DE CLARIFICACIÓN DE ZUMOS DE FRUTAS.

Las cantidades de azúcares de interés de esta investigación, se encuentran retenidas dentro de la pulpa del mango, materia orgánica constituida por fibras, polisacáridos, agua y proteínas en mayor parte como la pectina constituida por polímeros de ácido D-galacturónico que conforman la mayor cantidad de materia de la célula vegetal. El azúcar debe extraerse de estos compuestos y posteriormente ser separado por métodos fisicoquímicos para poder obtenerse una solución clarificada y sin otras sustancias aparte del azúcar. La pulpa reducida a una pasta por medios mecánicos para facilitar la extracción de los azúcares, al ser disuelta en agua forma coloides no precipitables, en los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado, (Yaniris, 2006).

Los términos coagulación y floculación se utilizan ambos indistintamente en colación con la formación de agregados. Sin embargo, conviene señalar las diferencias conceptuales entre estas dos operaciones. La confusión proviene del hecho de que frecuentemente ambas operaciones se producen de manera simultánea. Para aclarar ideas definiremos coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración. Por tanto:

a) COAGULACIÓN:

Desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

b) FLOCULACIÓN:

Aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microfloculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

Se llama Coagulación-Floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. Dicho proceso se usa para lograr lo siguiente:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, entre otros.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.
- Destrucción de algas y plancton en general.

1.5.1 TEORÍA DE LA COAGULACIÓN

La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan. Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microfloculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos.

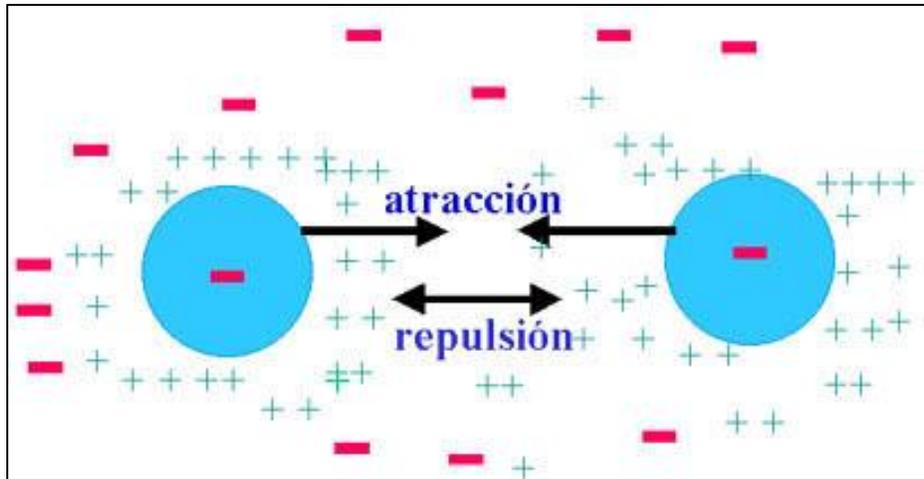


Figura 1.9 Estabilidad de los coloides.

Fuente: Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. (Yaniris, 2006)

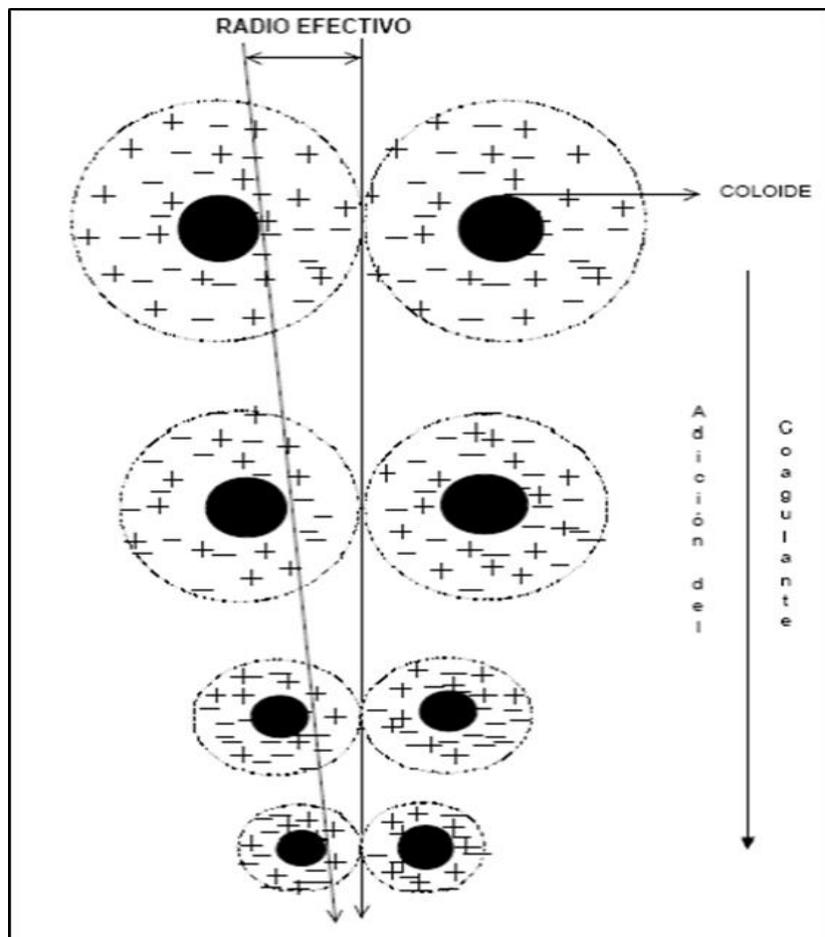


Figura 1.10 Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.

Fuente: Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. (Yaniris, 2006)

Etapas del proceso de coagulación

- 1° Fase:** Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.
- 2° Fase:** Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.
- 3° Fase:** Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.
- 4° Fase:** Adsorción mutua entre los coloides.
- 5° Fase:** Acción de barrido.

Cuando se agrega un coagulante al agua, éste se hidroliza y puede producir desestabilización de las partículas por simple adsorción específica de los productos de hidrólisis, generalmente con carga positiva, en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados (compresión de la doble capa o neutralización de las cargas), o por interacción química con los grupos ionizables de su superficie. La teoría química y la de la doble capa son las más aceptadas universalmente y explican la estabilidad de los coloides.

Otro factor importante es el potencial Z, llamado así al potencial existente en el plano de deslizamiento entre la superficie cargada y la disolución de electrolito, o más concretamente, es la diferencia de potencial que existe entre la superficie de separación de las partes fija y móvil y el seno del líquido. Cuando se aumenta la concentración de electrolito, disminuye el potencial Z, ya que la mayor parte de la caída de potencial ocurre en la parte inmóvil de la doble capa. Cuando el potencial Z queda reducido a unos 10-20 mV, es cuando los choques entre las partículas originan su unión, formando agregados mayores. Estos agregados se forman al vencer la tensión superficial la repulsión electrostática, que ya es muy pequeña. Sabemos que la electrofóresis es el movimiento de las partículas cargadas en el seno de un líquido cuando se aplica un gradiente de potencial. Si la partícula colocada en un campo eléctrico no experimenta movimiento hacia el cátodo o ánodo, es porque el potencial Z vale cero, a este punto se le conoce con el nombre de "punto isoeléctrico" y es aquí, en este punto, donde se produce la mejor floculación, al evitarse el equilibrio de fuerzas que impiden que estas partículas

coloidales continúen en suspensión. El potencial Z de los coloides depende también de un factor muy importante, como es el pH del agua. El pH óptimo de coagulación será el existente cuando se alcanza el punto isoeléctrico. (Rein, 2012)

1.5.2 TEORÍA DE LA FLOCULACIÓN

La formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica. La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o pericinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano. El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo. (Rein, 2012)

Entre los floculantes de uso en la industria se tienen polímeros sintéticos (ej. poliacrilamida), polímeros naturales (ej. Almidón), sales de aluminio como el alumbre potásico ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) y el óxido de aluminio (Al_2O_3).

a) **POLIACRILAMIDA**

Los floculantes usados más comúnmente para la clarificación de jugo, así como el acondicionamiento de la alimentación de filtros, 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 y meladura (Rein, 2012).

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).

Una hipótesis sobre el mecanismo de formación de flóculos sugiere que las cadenas en solución tienen generalmente una carga negativa y se encuentran desenlazadas, pero se presentan ocasionalmente cargados positivamente. Las cargas positivas atraen las partículas de flóculos de carga negativa y la molécula de floculante se agrupa entonces alrededor de éstas, formando agentes que estabilizan efectivamente el flóculo. En otra hipótesis la presencia de Ca^{++} puede también formar un enlace catiónico entre las cargas negativas del polímero y las partículas de flóculos.

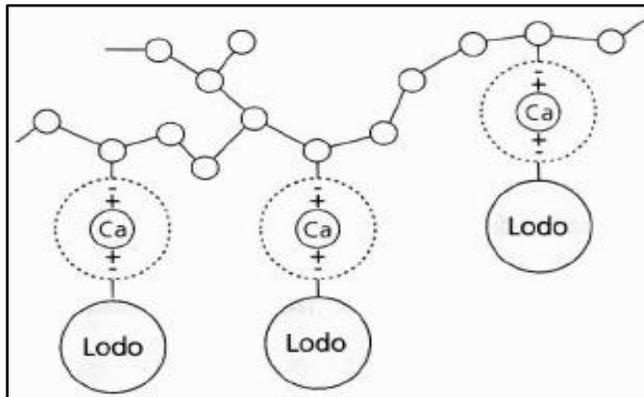


Figura 1.11 Enlace de partículas de lodo con cadenas de un floculante aniónico

Fuente: (Rein, 2012)

La eficiencia de los floculantes aniónicos depende de su peso molecular y del grado de hidrólisis, variando para diferentes jugos. Un grado de hidrólisis en el intervalo de 20 a 30% es razonablemente efectivo, con pesos moleculares en un rango de 4 a 12×10^6 .

Los floculantes son activos en el jugo a niveles entre 2 y 3 mg/kg jugo. Mayores dosis son aplicadas para el tratamiento del lodo de filtros. Un uso excesivo de floculante puede causar arrastres y baja filtrabilidad del azúcar,

para el proceso se debe conocer los valores de sólidos totales al inicio y la concentración de ion fosfato debe ajustarse entre 200 y 300ppm. La eficiencia de la poliacrilamida radica en llevar a cabo el proceso con los parámetros correspondientes, se debe contar con un pH básico entre 7.5 y 8.3 y la temperatura debe mantenerse entre 100 y 103°C; estos son los principales factores a tomar en cuenta en la utilización de la poliacrilamida.

b) FLOCULACIÓN Y CLARIFICACIÓN USANDO ÓXIDO DE ALUMINIO (Al_2O_3) COMO AGENTE PRECIPITANTE.

El óxido de aluminio, llamado también alúmina consiste en polvo fino y de color blanco, procedente de la naturaleza en el mineral de Corindón y Bauxita, es insoluble en agua, y por lo tanto precipita rápidamente.

Posee la propiedad de adherirse muy bien a los coloides flotantes de pulpa de frutas en solución debido a su gran cantidad de electrones externos, que generan una atracción por formación de carga inducida, y al ser una sustancia precipitable en agua, provoca la separación por sedimentación de las materias orgánicas clarificando la solución de pulpa de fruta en agua.



Figura 1.12 Óxido de aluminio calidad reactivo con pureza de 98% utilizado en la investigación para la clarificación del jugo de mango.

1.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE ZUMOS DE FRUTAS

Las técnicas de refractometría y polarimetría son utilizadas para la cuantificación de azúcares presentes en soluciones, como el caso del proceso azucarero, las técnicas descritas a continuación, representan gran importancia para la investigación, dado que al realizarlos se puede conocer los aspectos de interés en la evaluación de la factibilidad técnica del mango criollo como fuente posible de sacarosa para industrializada.

1.6.1. REFRACTOMETRÍA

La refractometría se fundamenta en el principio de que cuando un rayo de luz incidente pasa de un medio a otro con diferente densidad y composición, sufre un cambio en su dirección, esta propiedad se llama refracción. El ángulo hecho por el rayo incidente con una perpendicular al punto de incidencia es denominado ángulo de incidencia "i", mientras que "r" hecho por el rayo refractado es denominado ángulo de refracción.

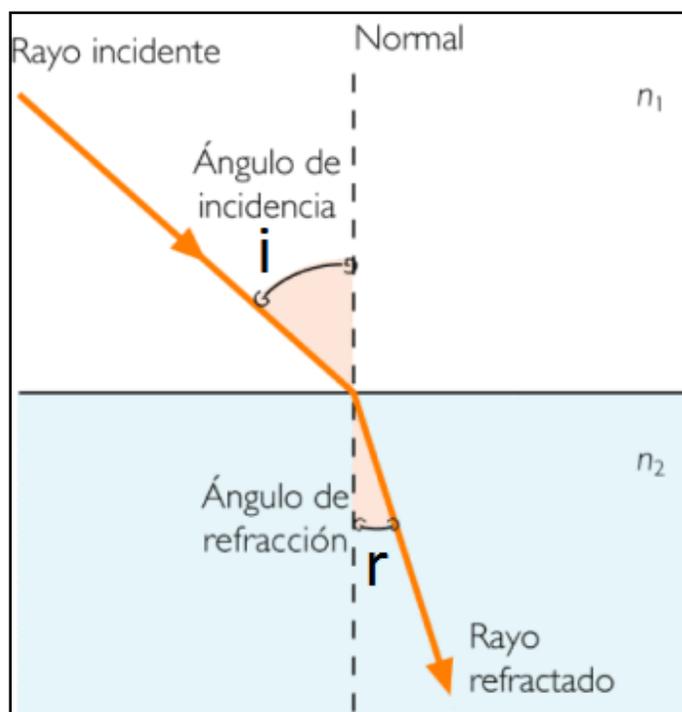


Figura 1.13 Fenómeno de refracción de la luz al cambiar de medio Fuente: Sear, Semasky, Young & Freedman. Física Universitaria con Física Moderna Vol 2, 13° ed. Pág 1,116.

La razón del seno del ángulo de incidencia “i” entre el seno “r” del ángulo de refracción denominado índice de refracción “n” es siempre una cantidad constante para dos medios dados, para la misma longitud de onda de luz a la misma temperatura. Esta ley de refracción fue descubierta por Willebrod Snell en 1621. Cristian Huygens (1629-1695), astrónomo, físico y matemático neerlandés mostró que la refracción se explica muy simplemente por asumir un cambio en la velocidad de la luz al paso de un medio a otro. De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v}{v'} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde v representa la velocidad de la luz en el medio primario y v' la velocidad de la luz en el medio secundario.

El índice de refracción varía con la longitud de onda de la luz, incrementándose desde el rojo hacia el violeta, fin del espectro. Los valores del índice de refracción estándares en la literatura están dados para la luz monocromática del sodio a 589nm a una temperatura particular, usualmente a 20.0°C, Estos valores son indicados como n_D^{20} , donde el subíndice “D” corresponde a la longitud de onda de 589nm del sodio y el superíndice 20 indica la temperatura estándar de 20.0°C.

El índice de refracción para soluciones de azúcar decrece con la temperatura, aproximadamente al mismo grado que lo hace con la gravedad específica. El índice de refracción de una solución incrementa linealmente con la concentración solo cuando la concentración está expresada en términos de peso de soluto por volumen de solución. Los índices de refracción de soluciones de sacarosa han sido determinados con considerable exactitud y precisión y las tablas de referencia de índices de soluciones de sacarosa a 20.0°C usados ahora están basados en la Escala Internacional adoptada como oficial en 1938 (*Joslyn (1970)*).

Tabla 1.5 Índices de refracción de soluciones de glucosa, fructosa y sacarosa a 20° C

PORCENTAJE EN PESO	ÍNDICE DE REFRACCIÓN			
	GLUCOSA	FRUCTOSA	AZÚCAR INVERTIDA	SACAROSA
10	1.34775	1.34762	1.34764	1.34783
20	1.36356	1.36335	1.36341	1.36384
30	1.38051	1.3803	1.3804	1.3811
40	1.39872	1.39857	1.39866	1.3997
50	1.41826	1.41819	1.41827	1.42
60	1.43918	1.43917	1.43928	1.4418
70	1.46156	1.4615	1.46172	1.4651

Fuente: (Joslyn (1970), PÁG 244)

En la práctica para obtener mediciones directas de concentración de azúcares y sólidos solubles, se utiliza un equipo óptico llamado refractómetro Abbe, que proporciona una lectura directa de concentración y solo precisa de escasas gotas de muestra dispuesta entre sus dos prismas que se sobreponen para formar una película de muestra de grosor definido, además de utilizar luz solar como fuente de radiación para realizar la medición. (Joslyn, 1970). Proporciona una lectura rápida de sólidos solubles totales, medidos en grados brix (°Bx), definidos como:

$$^{\circ}\text{Bx} = \frac{\text{gramos materia seca disuelta}}{100\text{g de disolución}} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

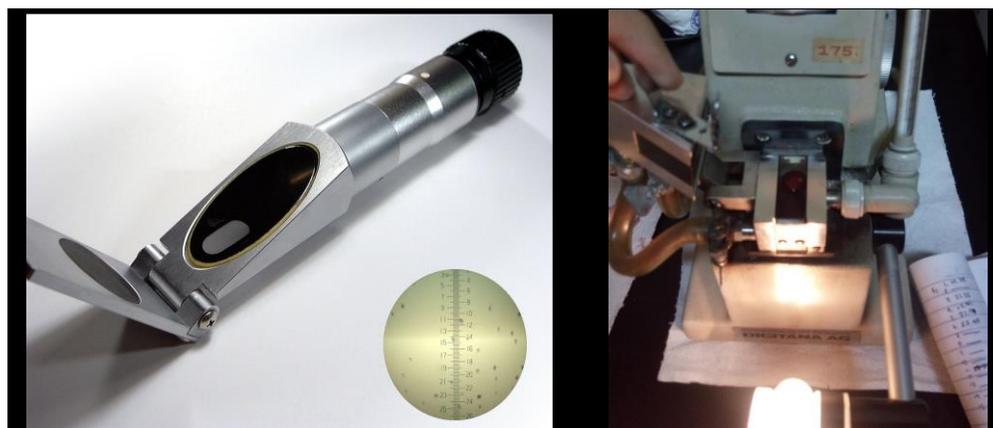


Figura 1.14 Refractómetros utilizados para la medición de grados Brix, a la izquierda refractómetro portátil marca Extrech, a la derecha refractómetro, marca Bausch and Lamb, modelo Abbe I3 utilizado en laboratorio Ingeniera Química FIA- UES

Fuente: www.equiposylaboratorio.com/refractometroAbbe

Refractómetro de mano es utilizado comúnmente para análisis aproximado de azúcares totales en proceso de ingenio azucarero. En la escala del círculo de la esquina inferior derecha de la figura, la lectura de la concentración corresponde a la numeración tocada por la línea que separa la zona iluminada de la zona oscura.

Cuando una solución está constituida exclusivamente de sacarosa, los grados Brix corresponderán a la concentración de sacarosa de la solución, mientras que cuando está acompañada de glucosa y fructosa, la lectura del refractómetro ($^{\circ}$ Brix) será la concentración de azúcares totales en la muestra. Cabe mencionar que los prismas de los refractómetros Abbe comerciales solo pueden medir soluciones con índices de refracción menores que el índice de los prismas mismos, es decir, las soluciones a muestrear deben estar entre índices de 1.3 y 1.7 para que su medición sea confiable.

1.6.2. TEORÍA POLARIMÉTRICA

La concentración de una sustancia disuelta también puede determinarse de forma precisa a través de su rotación óptica. La rotación óptica es una propiedad física por la cual, las sustancias ópticamente activas (aquellas que además de quirales poseen enantiómeros o isómeros especulares no superponibles) rotan en un ángulo determinado el plano de una luz polarizada monocromática cuando esta atraviesa una longitud y volumen definido de la solución que las contiene.

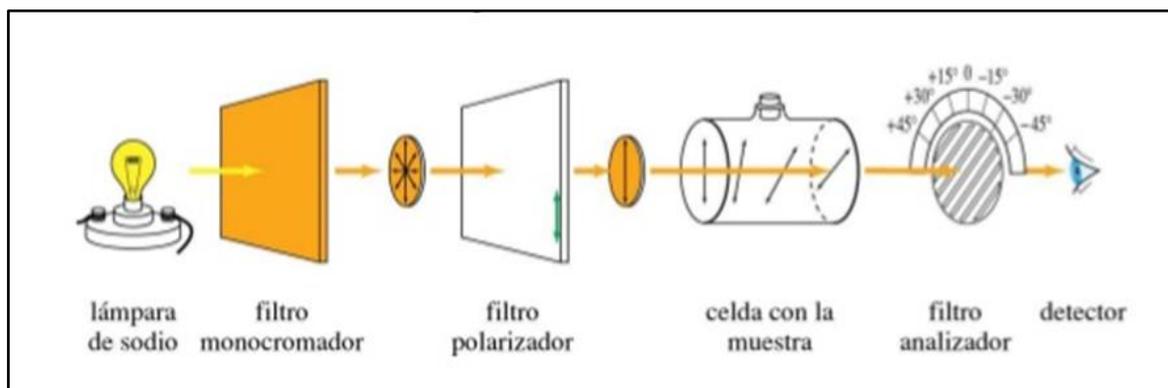


Figura 1.15 Mecanismo de polarización de luz monocromática por actividad óptica de sustancias en solución.

Fuente: (Wade, 2004)

Un polarímetro mide la rotación de la luz polarizada, consta de una celda tubular o cubeta de muestra donde se dispone la sustancia quiral o una solución de la misma cuya actividad óptica se va a medir, de un dispositivo para hacer pasar la luz polarizada a través de la solución y de un sistema para medir la rotación del plano de polarización de la luz emergente. Se filtra la luz de una lámpara de sodio para que esté formada por una sola longitud de onda monocromática. La longitud de onda que se utiliza con más frecuencia en polarimetría como en refractometría es la correspondiente a la línea amarilla del sodio, denominada línea D con $\lambda=589\text{nm}$. La luz monocromática de la fuente pasa a través de un polarizador y después atraviesa la celda de la muestra que contiene una solución del compuesto ópticamente activo.

Cuando sale de la celda, la luz polarizada se encuentra con otro polarizador móvil. Este filtro es móvil con una escala que permite que el operador lea el ángulo entre el eje del segundo filtro (analizador) y el eje del primero (polarizador). El operador gira el filtro analizador hasta que se transmite la máxima cantidad de luz y se lee la rotación observada con el transportador o escala angular. La rotación específica se simboliza por la letra griega α .

A los compuestos que giran el plano de polarización de la luz hacia la derecha (sentido de las agujas del reloj) se les denomina **dextrógiros** (del griego *dexios*, “hacia la derecha”), se los representa por: **D (+)** y los que giran el plano de luz polarizada hacia la izquierda se denominan **levógiros** (del latín *laevus*, “hacia la izquierda”), se los representa por **L(-)**. (Wade, 2004, pág 180).

Para utilizar la rotación de la luz polarizada como una propiedad característica de un compuesto, se ha de estandarizar las condiciones de medida. La **Rotación Específica** $[\alpha]$ de un compuesto se define como la rotación que se observa cuando se utiliza una celda de muestras de 10cm de longitud y una concentración de la sustancia de 1g/mL. Se pueden utilizar otras longitudes de celda y otras concentraciones, pero la rotación observada se divide entre el producto de la longitud de celda (l) y la concentración (c).

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha_{\text{observada}}}{c \cdot l} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Dónde:

$\alpha(\text{observada})$ = rotación observada en el polarímetro.

c = concentración en g/mL.

l =longitud de la celda en decímetros (dm).

$[\alpha]$ = rotación específica.

D = longitud de onda de línea "D" del sodio, igual 589nm.

t = temperatura de la solución.

Cabe destacar que la rotación específica también se representa por $[\alpha]_D^{25}$ donde el 25 indica la temperatura estándar, y la D la longitud de onda usada del sodio como fuente de 589nm.

Posteriormente se usará la ecuación 1.3 para el cálculo de las concentraciones de los azúcares medidas, utilizando las condiciones de temperatura y longitud de celda usada, y la rotación observada.



Figura 1.16 Polarímetro de laboratorio para mediciones de rotación óptica Marca DR. STEEG AND REUTERS, modelo SR-6, utilizado en laboratorio de Facultad de Química y Farmacia - UES

1.6.3. ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA PRESENTE EN JUGO CLARIFICADO POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA PRECISIÓN (Foitzich 2013)

De los métodos de análisis que actualmente se utilizan para separación, identificación y cuantificación de azúcares, se destacan la cromatografía de gases (GC), y la Cromatografía Líquida De Alta Precisión (HPLC). Debido a que los azúcares son altamente polares, muy hidrofílicos y muy poco volátiles los métodos de cromatografía de gas se vuelven incompetentes para la determinación de contenido de azúcares en muestras de frutas.

En la técnica de medición por HPLC, la muestra de azúcares es bombeada a través de una fase estacionaria que consiste en un cilindro con un lecho empacado de resina iónica, que ralentiza los azúcares en función de sus pesos moleculares, pudiendo provocar su separación y detección individual.

Sin embargo, la determinación de carbohidratos por HPLC es un método que no requiere derivar los azúcares en compuestos volátiles para su identificación. La cromatografía líquida de alta resolución se define como la técnica analítica de separación ampliamente utilizada dada su sensibilidad, su fácil adaptación a las determinaciones cuantitativas exactas, su idoneidad para la separación de especies y, sobre todo, su aplicabilidad a sustancias que son de primordial interés en la industria, así como en muchos campos de la ciencia y la sociedad en general.

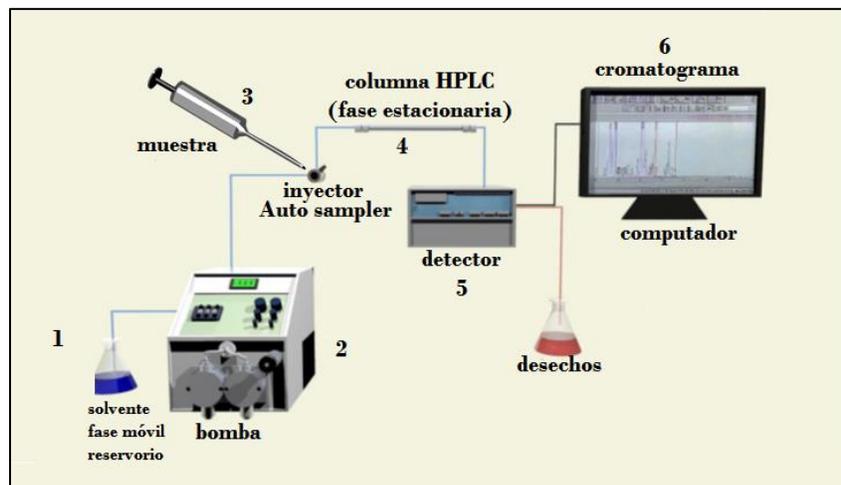


Figura 1.17 Esquema del proceso de análisis por HPLC

La muestra es inyectada (#3), la separación de sus componentes se realiza durante el tránsito por la columna en el #4, y el detector cuantifica cada uno de los componentes por separado para generar por medio de equipo informático un diagrama de picos de composición de sustancias.

CAPÍTULO II

2. DETERMINACIÓN DE MARCHA EXPERIMENTAL PARA OBTENCIÓN DE JUGO DE MANGO CLARIFICADO A TRAVÉS DE PRUEBAS DE LABORATORIO.

En la metodología aplicada se realizaron las etapas: selección de puntos de muestreo, recolección de muestra, procesamiento de la pulpa, análisis en pulpa para su caracterización, pruebas de laboratorio para determinar la marcha adecuada a utilizar para la obtención de jugo clarificado, análisis fisicoquímicos al jugo clarificado para conocer su concentración en azúcares y por último concentración del jugo clarificado obtenido.

En la literatura científica se pondera mucho el muestreo como una parte fundamental del análisis químico cuantitativo. Estadísticamente un muestreo debe ser aleatorio, representativo y extrapolable a la población analizada.

En esta investigación la población muestral inicial consistió en la cosecha de dos árboles de mango criollo, posteriormente se amplió a cinco árboles para obtener la cantidad de mangos suficientes para la realización de las pruebas debido a que existieron pérdidas de frutos por consecuencias climáticas (lluvias), plagas (mosca de la fruta) y elevados consumos de frutos por parte de roedores (ardillas).

2.1. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para la realización del muestreo se seleccionaron tres árboles de la variedad en cuestión (mango criollo) dentro del campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, durante la cosecha comprendida entre mayo y julio de 2017, un cuarto árbol localizado en el municipio de Ilopango

en el departamento de San Salvador en la zona verde de la Colonia Llano Verde II. Y un quinto árbol ubicado en el casco urbano del municipio de Jocoaitique en el Departamento de Morazán, debido que ese último muestreo fue necesario por escasez de muestras maduras y se realizó a principios de julio cuando el fruto se encontraba agotado en los árboles localizados en la zona central y occidental del El Salvador. En la tabla 2.1 se detallan los muestreos realizados:

Tabla 2.1 Descripción de ubicación de árboles de mango utilizados para muestreo

NOMBRE ASIGNADO	UBICACIÓN
Árbol A	Junto costado oriente del edificio B de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador.
Árbol B	Edificio de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador.
Árbol C	Frente a Unidad Productiva del edificio de Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de El Salvador, San Salvador.
Árbol D	Colonia Llano Verde del municipio de Ilopango, San Salvador.
Árbol E	Casco urbano del municipio de Jocoaitique, Morazán.



Figura 2.1 Árboles de mango criollo (indio) utilizados para el muestreo

2.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS SEGÚN DETERMINACIÓN VISUAL APARENTE DE ESTADO DE MADURACIÓN

La recolección se realizó por medio de una herramienta de corte en forma de vara con canasta, para evitar el deterioro de los frutos por golpes o caídas y prevenir fisuras en la cáscara de los mangos por lo que se puede dar la proliferación de bacterias, descomponiendo la pulpa.



Figura 2.2 Fotografía del primer muestreo realizado el 16 de mayo de 2017.

Nota: La prevalencia mayoritaria de fruta aún verde y la abundante cantidad de la misma, hecho que motivó en gran parte la investigación para aprovechar la disponibilidad del mango indio.

2.2.1. RECOLECCIÓN DE TRES MUESTRAS DE FRUTOS EN DOS ÁRBOLES DISTINTOS EN ESTADO DE MADUREZ MEDIA (SASÓN) Y MADUREZ COMPLETA CON REPETICIÓN A UNA SEMANA POSTERIOR.

La metodología acordada a emplearse para efectuar un muestreo representativo, fidedigno y que además proporcionara información sobre el tiempo en que era capaz el mango de permanecer cortado y almacenado a granel antes de iniciar su proceso natural de descomposición consistía en la recolección de frutos cada tres días, por triplicado por cada árbol, para luego someterse a análisis de refractometría para determinar sólidos suspendidos totales, aproximables aceptablemente a azúcares totales (glucosa fructosa y sacarosa), posteriormente clarificar muestras de pulpa y analizar composición química.

MUESTREO 1: RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCARES TOTALES PROCEDENTES DE PULPA Y DE PULPA MÁS CÁSCARA DE MANGO CRIOLLO.

El muestreo se realizó con el fin de evaluar la cantidad de azúcares remanentes que era capaz de aportar la cáscara siendo procesada junto con la pulpa del mango, pues de ser esta cantidad significativa, el proceso de clarificación de jugo debía ajustarse para ser capaz de tratar adecuadamente la cáscara de mango como otra materia prima junto con sus constituyentes a fin de optimizar el rendimiento del proceso.

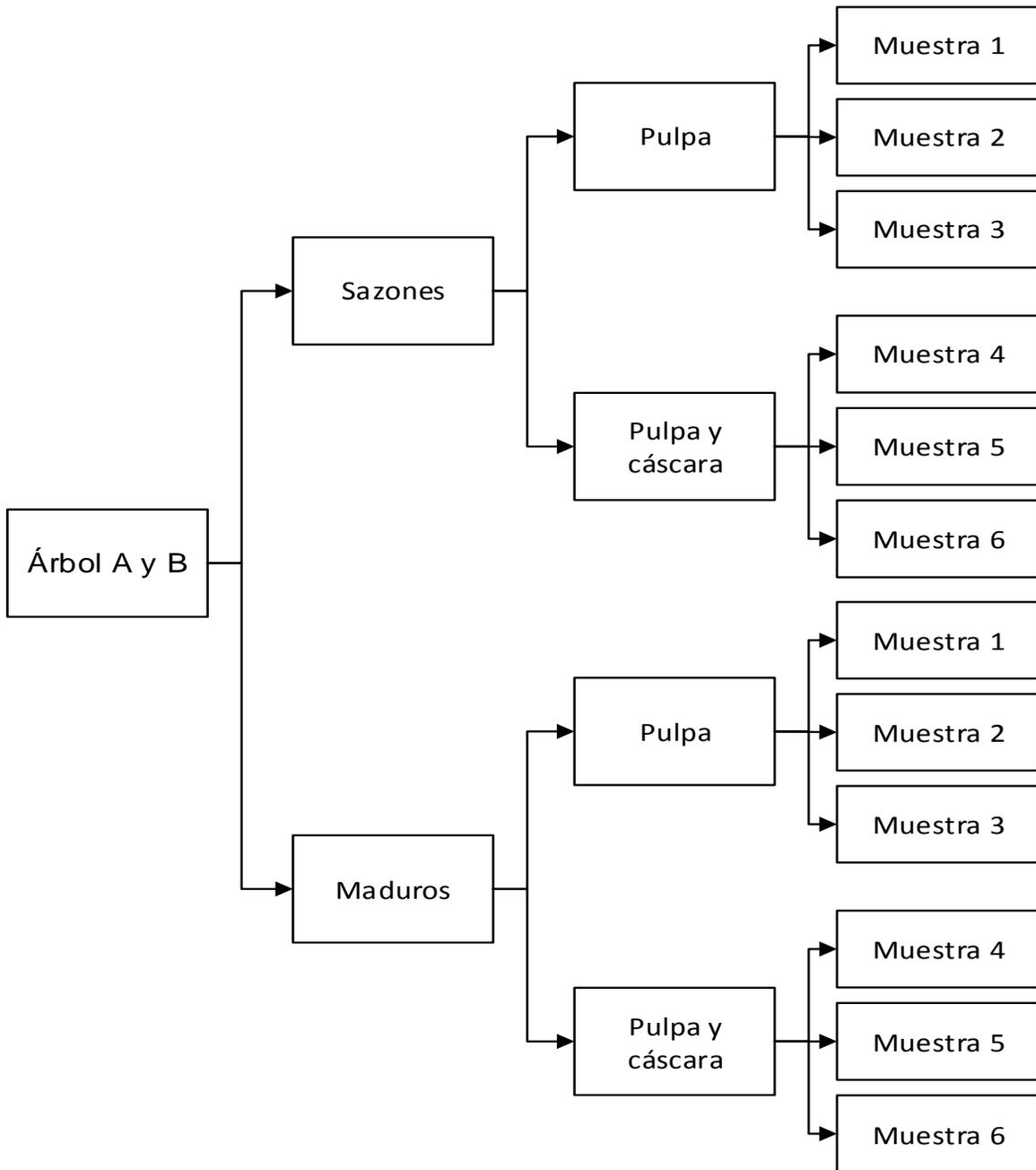


Figura 2.3 Diagrama de árbol para proceso de recolección de muestras y evaluación de rendimiento extracción de azúcares procedentes de pulpa vs pulpa más cáscara en árbol A y B.

MUESTREO 2 A: MUESTREO PARA DETERMINAR CONTENIDO PROMEDIO DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SACAROSA EN PULPAS DE MANGO MADURO PROVENIENTE DE ÁRBOLES A, B Y C

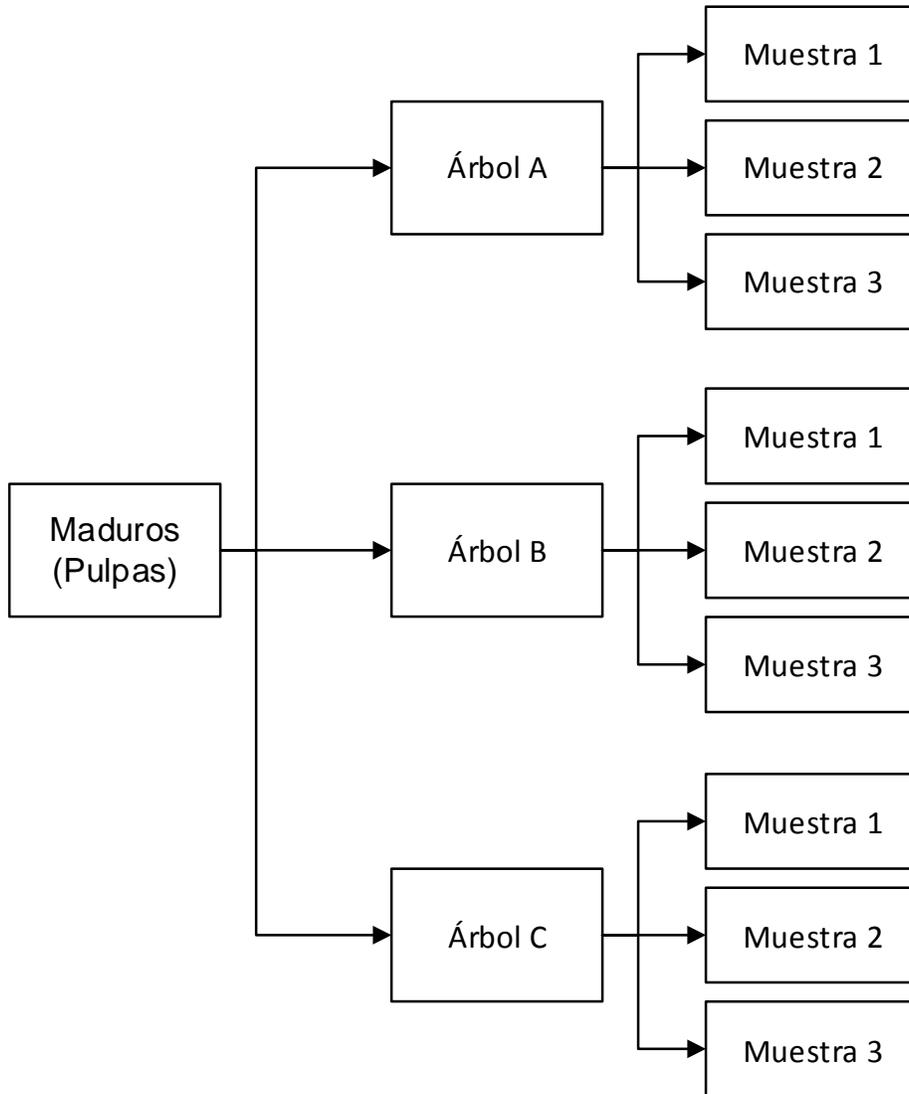


Figura 2.4 Diagrama de árbol para ilustrar el proceso de recolección de muestras para los frutos maduros, evaluación de composición química y balances de materia de proceso de clarificación de jugo de mango.

MUESTREO 2 B: MUESTREO PARA DETERMINAR CONTENIDO PROMEDIO DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SACAROSA EN PULPAS DE MANGO SAZÓN PROVENIENTE DE ÁRBOLES A, B Y C

El diagrama de la figura 2.5 corresponde al muestreo que se realizó para evaluar la cantidad de sacarosa máxima obtenible de mangos sazones, en esencia la necesidad de este muestreo era conocer si la concentración de sacarosa era un máximo durante esta etapa de la maduración y se encontraba decaída al momento de madurez total por inversión de la sacarosa.

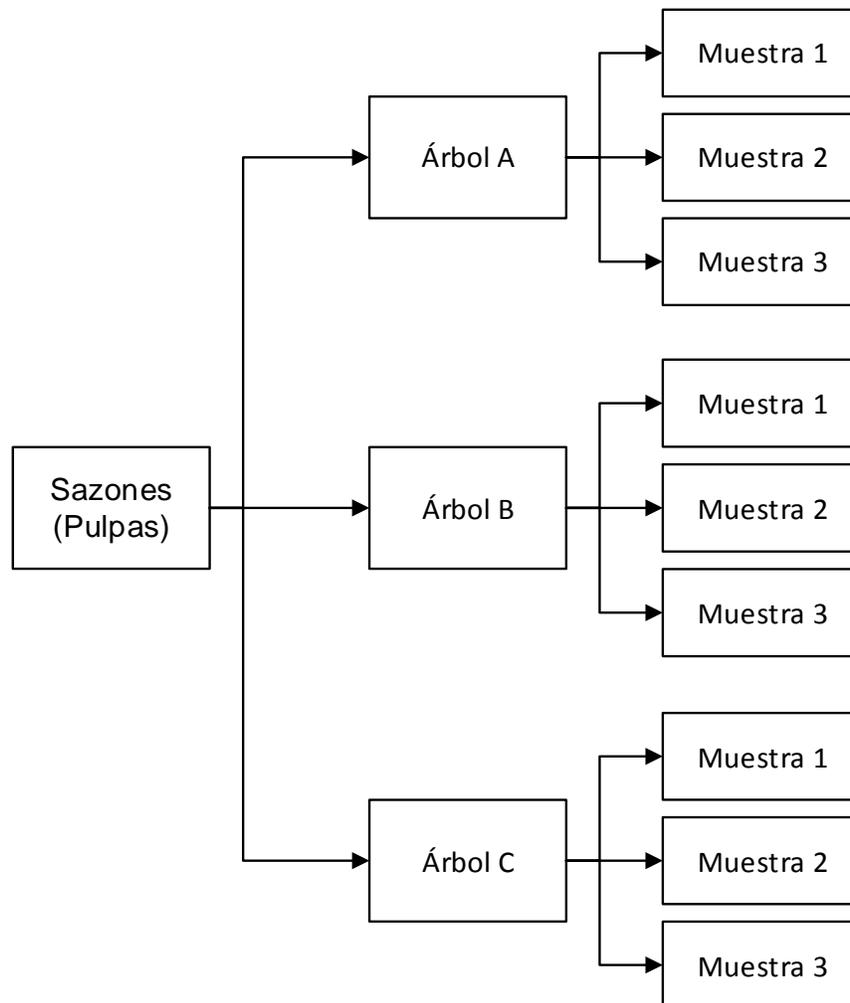


Figura 2.5 Diagrama de árbol para ilustrar el proceso de recolección de muestras para los frutos sazones, evaluación de composición química y balances de materia de proceso de clarificación de jugo de mango.

Los muestreos 2A y 2B fueron programados para ser llevados paralelamente, el objetivo es determinar, según el estado de madurez aparente, el momento de alcance de mayor concentración de azúcares en el mango, así también otros análisis cualitativos como la cantidad de días que este puede permanecer cortado, a granel sin comenzar a descomponerse y la capacidad de maduración del fruto cortado en estado sazón.

Cabe destacar que el invierno del año 2017 comenzó muy exacto con la primera lluvia del año registrada la noche del 31 de abril al 1 de mayo, que luego perdió regularidad por aproximadamente tres semanas, registrándose escasa lluvia durante ese período, para luego volverse muy copioso y regular, observándose sobre todo lluvias nocturnas constantes todas las noches. Hechos que tendrían repercusiones en el desarrollo de los muestreos como se verá posteriormente.

2.2.2. TIEMPOS PARA REALIZACIÓN DE MUESTREO DE MANGO CRIOLLO

El fruto es una cosecha de temporada, de finales de verano y principios de invierno, en El Salvador corresponde entre final de abril y principios de agosto.

El muestreo fue realizado durante los meses de mayo a julio del año 2017, en las instalaciones de la Universidad de El Salvador, Ver tabla 2.2.

Tabla 2.2 Descripción de muestreos de mango realizados dentro de las instalaciones de Universidad de El Salvador

Fecha	Muestreo	Uso
16 y 17 de mayo	3 mangos entre sazón y maduro de cada árbol en cada muestreo.	Pruebas exploratorias con Alumbre.
18 y 23 de mayo	3 mangos entre sazón y maduro de cada árbol en cada muestreo.	Pruebas exploratorias con carbón activado.
1 de junio	De cada árbol se recolectaron 6 mangos sazones y 6 mangos maduros. Ya se utilizaba árbol "C".	Pruebas del día con óxido de aluminio.
5 de junio	De cada árbol se recolectaron 6 mangos sazones y 6 mangos maduros.	Pruebas procesadas después de 2 días de cortado para pruebas con óxido de aluminio.

Continúa

Tabla 2.2 a Descripción de muestreos de mango realizados dentro de las instalaciones de Universidad de El Salvador

Fecha	Muestreo	Uso
5 de junio	De cada árbol se recolectaron 6 mangos sazones y 6 mangos maduros.	Pruebas procesadas después de 4 días de cortado para pruebas con óxido de aluminio.
19 de junio	De cada árbol se recolectaron 6 mangos sazones y 6 mangos maduros.	Pruebas del día con óxido de aluminio.
9 de julio	Se recolectaron 3 mangos maduros de árbol "D"	Pruebas con Poliacrilamida.
10 de julio	Se recolectaron 3 mangos maduros de árbol "D"	Pruebas con Poliacrilamida.

2.3. PRUEBAS PRELIMINARES DE CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE MANGO

Para llevar a cabo la clarificación de jugo de mango, se procedió a realizar diferentes pruebas debido a que no se encuentra información relevante al tema estudiado por las siguientes razones:

- a) Es un tema poco investigado,
- b) Los métodos realizados por la industria alimenticia se basan en el uso de una enzima llamada pectinasa que no se encuentra comercialmente, por lo que no se tuvo disponibilidad de ésta.
- c) Es necesario para encontrar el método de clarificación adecuado para el proceso planteado.

Tabla 2.3 Propiedades y usos de clarificantes utilizados en pruebas preliminares para el jugo de mango.

Clarificante	Propiedades	Usos actuales
Carbón activado (C)	Peso molecular: 12.01 g/mol Punto de fusión: 3550°C Apariencia: Polvos finos de color negro Solubilidad: Insoluble en agua.	Remoción de color, olores y sabores indeseables en líquidos. En la clarificación de jarabes y azúcar refinada.

continúa

Tabla 2.3a Propiedades y usos de clarificantes utilizados en pruebas preliminares para jugo de mango.

Clarificante	Propiedades	Usos actuales
Alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)	Peso molecular: 474.1 g/mol Punto de fusión: 92 °C Apariencia: Cristalino y transparente Solubilidad: 14g en 100g de agua a 20°C	Clarificación de zumos de fruta.
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	Peso molecular: 101.96 g/mol Punto de fusión: 2072 °C Apariencia: polvo blanco Solubilidad: Insoluble en agua	Clarificante rápido para pruebas de laboratorio (Core Sample) en Ingenios Azucareros.
Poliacrilamida (C_3H_5NO) _n	Peso molecular: 71,08 g/mol Punto de fusión: no determinable Apariencia: Polvo sólido blanquecino	Flocular sólidos en un líquido, para el tratamiento del agua, clarificado de jugo de caña y procesos tales como la fabricación de papel.

Fuente: (Rayner-CanHam, 2000)

2.3.1. EXPERIMENTO 1 CLARIFICADO CON ALUMBRE $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Tomando en cuenta que las sales de Aluminio son comúnmente utilizadas para el tratamiento de aguas, se procedió a realizar el experimento con el jugo de mango.

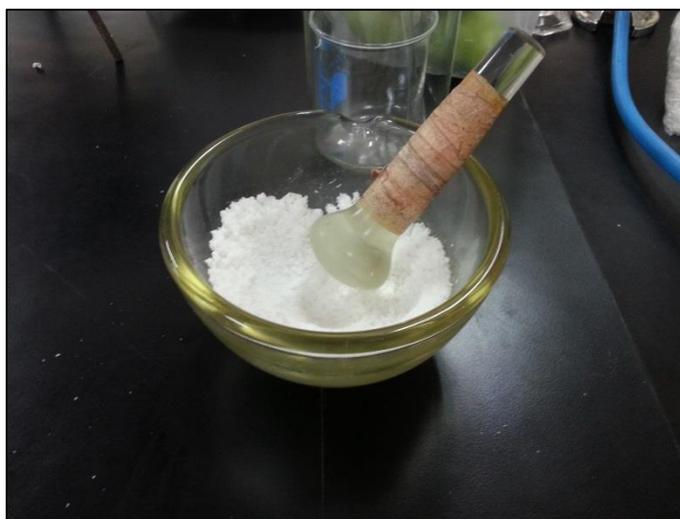


Figura 2.6 Preparación de Alumbre para obtención de polvo a partir de grumos.

Dado que la calidad del alumbre no se posee en calidad reactivo, sino que industrial se procedió a realizar lo siguiente para aumentar su pureza.

- Agregar agua destilada y mezclar.
- Dejar reposar hasta que sedimentaran los sólidos y decantar el agua.
- Introducir el alumbre húmedo en el desecador.
- Triturar los cristales.

A) Procesamiento de la muestra de mango: despulpado, trituración de pulpa con licuadora y dilución de 40g de pulpa en agua.

B) Agregar 20g de alumbre a la solución de mango y dejar reposar 1 día en ampollas de separación.



Figura 2.7 Ensayos de Laboratorio con Alumbre para clarificación de jugo de mango, utilizando ampollas de separación.

Utilizando Alumbre, no se tuvo resultados favorables, dado que como se puede observar en la figura 2.7, la clarificación del jugo de mango no se logró.

2.3.2. EXPERIMENTO 2: CARBÓN ACTIVADO (C)

Como ya se sabe, el carbón activado es sumamente utilizado en la industria para el tratamiento de aguas principalmente para la eliminación de impurezas. El

procedimiento realizado a nivel experimental con la pulpa de mango, se detalla a continuación:

- A) Procesamiento de la muestra de mango: despulpado, trituración de pulpa con licuadora y dilución de 40g de pulpa en agua.
- B) Agregar 10g de carbón activado a la solución de mango y se dejó reposar.
- C) Filtrar la solución con la ayuda de papel watman.



Figura 2.8 Ensayo de laboratorio utilizando Carbón Activado para clarificación de jugo de mango.

Al finalizar el experimento, se obtuvo un jugo clarificado con muchas trazas de carbón activado, lo que convertía el producto final en algo no deseado por el equipo.

2.3.3. EXPERIMENTO 3: ÓXIDO DE ALUMINIO (Al_2O_3)

Luego de probados los anteriores clarificantes, con resultados no satisfactorios en cuestión de grado de clarificación y eliminación de color, se procedió a utilizar óxido de aluminio como clarificante.

- A) Procesamiento de la muestra de mango: despulpado, trituración de pulpa con licuadora y dilución de 40g de pulpa en agua.
- B) Medición de grados °Brix a la pulpa licuada.
- C) Dilución de pulpa licuada (40g – 50g) en agua.



Figura 2.9 Óxido de Aluminio calidad industrial para ensayos de laboratorio de clarificación de jugo de mango

- D) Agregar 5% en peso de Al_2O_3 respecto a la masa de la pulpa y dejar reposar hasta la sedimentación.
- E) Tomar 20ml de la solución clarificada, colocar en tubos para centrifuga y centrifugar.
- F) Pasar los 20ml de centrifugado a una probeta y diluir hasta 100ml.
- G) Medir grados pol.

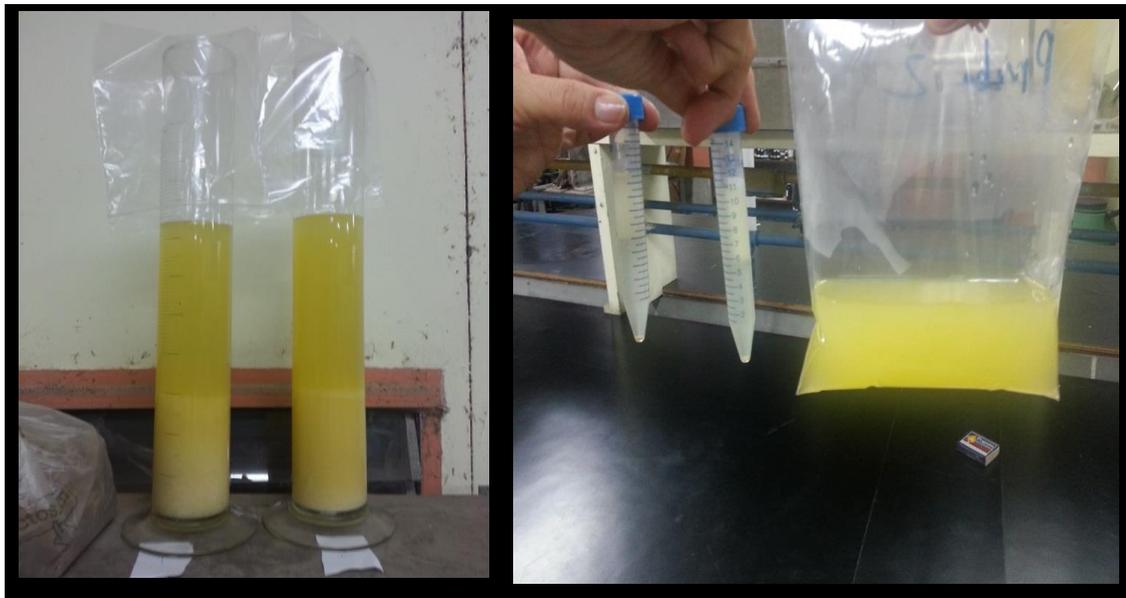


Figura 2.10 Práctica experimental de clarificación de jugo de mango utilizando Óxido de Aluminio. A la izquierda, probetas con prueba experimental en reposo, a la derecha jugo de mango clarificado en bolsa de polietileno y jugo de mango clarificado ya centrifugado.

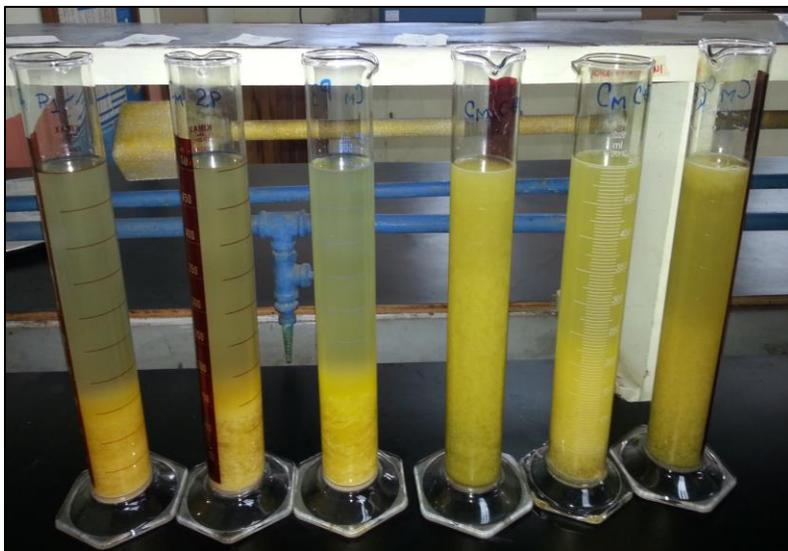


Figura 2.11 Probetas con clarificado de jugo de mango por medio de uso de Óxido de Aluminio, las tres probetas de la izquierda corresponden a ensayos usando solamente pulpa en la clarificación, las tres probetas de la derecha corresponden a ensayos utilizando pulpa y cáscara.



Figura 2.12 Resultado de muestras sometidas a centrifugación para evaluar la posibilidad de una clarificación extra. A la izquierda, se observa la centrifuga y a la derecha, el jugo clarificado ya centrifugado.

Utilizando el óxido de Aluminio, se obtuvo el jugo clarificado deseado, pero al formar parte de un proceso con finalidad alimenticia, no se podría utilizar dicha técnica por no ser el Óxido de Aluminio apto para consumo humano. Dicho experimento sirvió para poder caracterizar el jugo de mango.

2.3.4. EXPERIMENTO 4: POLIACRILAMIDA (C₃HNO)_n

La poliacrilamida es utilizada por excelencia en los ingenios azucareros para llevar a cabo la clarificación de jugo de caña, para ello se necesita poseer un pH neutro o un poco alcalino, el cual se puede regular mediante óxido de calcio. Para el experimento se utilizó Polímero de Poliacrilamida marca Lipesa (Ver Anexo E)

- A) Procesamiento de la muestra de mango: Lavar, pesar, despulpar y licuar las muestras de mango recolectadas.
- B) Determinar contenido de fosfatos, grados Brix y pH a la pulpa licuada.
- C) Diluir la pulpa licuada, 40g en agua hasta llegar a 50ml.
- D) Pesar 0.1g de poliacrilamida y diluir hasta llegar a 100ml de solución, para obtener una concentración de 0.1 porcentaje peso/peso. Dejar reposar por 2 horas.
- E) Pesar 0.25g de CaO y diluir en 25ml de agua.
- F) Calentar la pulpa a 76°C.
- G) Medir el pH de la pulpa.
- H) Agregar solución de CaO hasta ajustar el pH entre 7 y 8.
- I) Agregar a la solución de pulpa 10ml de solución de poliacrilamida del paso D, mezclar mediante agitación y elevar la temperatura a 102 °C.
- J) Dejar reposar hasta observar la formación de flóculos.
- K) Filtrar la solución y medir los grados Brix del clarificado y de la torta.



Figura 2.13 Pruebas de clarificado de jugo de mango con poliacrilamida con volumen total de, 250 ml, 200 ml y 150 ml de izquierda a derecha.

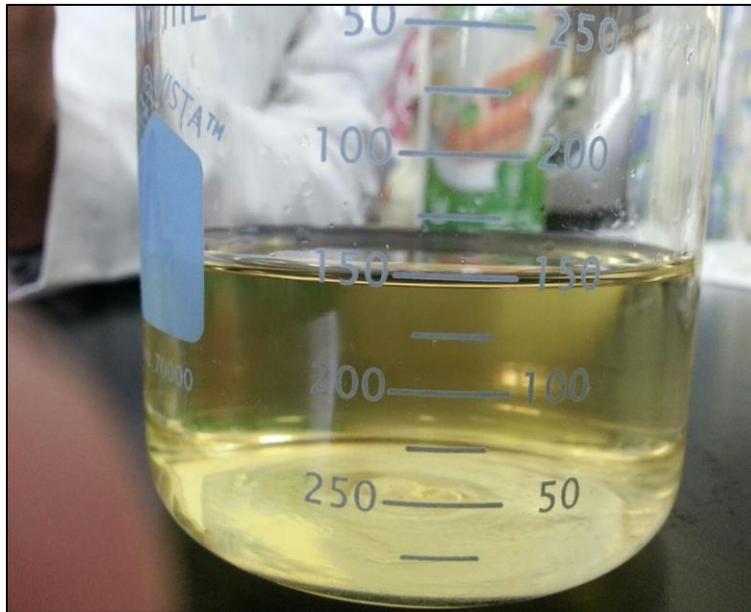


Figura 2.14 Muestra de jugo de mango clarificado con poliacrilamida, volumen final 200ml y 40ppm de poliacrilamida.

El experimento utilizando poliacrilamida, resultó ser exitoso, por la obtención del jugo clarificado y su fácil y rápido proceso.

2.3.5. RESULTADOS EN CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS IMPLEMENTADOS DURANTE LOS EXPERIMENTOS DE CLARIFICACIÓN DE JUGO DE MANGO

En la tabla 2.4, se presenta el resumen de las observaciones cualitativas en cada uno de los procesos experimentales que se llevaron a cabo.

Tabla 2.4 Resumen de observaciones preliminares de clarificación de jugo de mango

	Clarificación	Velocidad de clarificación	Eliminación de solución de suspensión	Observaciones cualitativas de viscosidad
Experimento 1. Alumbre	Mala	Lenta	Mala	Baja viscosidad
Experimento 2. Carbón Activado	Mala	Lenta	Mala	Baja viscosidad
Experimento 3. Oxido de Aluminio	Excelente	Aceptable	Excelente	Baja viscosidad
Experimento 4. Poliacrilamida	Buena	Aceptable	Excelente	Variable a controlar

De los ensayos se obtuvo información importante como:

- a) Se necesitan clarificantes, que se consideren reactivos de alta pureza y que las trazas de los mismos que puedan permanecer en el producto final sean inocuas para las personas.
- b) Durante el experimento con Alumbre potásico no se obtuvo clarificación aceptable, además el uso de las ampollas de separación con forma cónica no representa un área transversal constante que facilite la formación de flóculos.
- c) El uso de carbón activado generaba impurezas difíciles de extraer en el jugo, además el jugo clarificado, se tornaba de color oscuro, por lo que no se podrían realizar mediciones de parámetros por métodos ópticos.
- d) Durante el uso del óxido de aluminio se llegó a obtener buenos resultados de separación de jugo clarificado y torta filtrante. En este experimento se realizaron mediciones de polarimetría, dentro de las cuales se tomaban en cuenta las siguientes consideraciones: la medición de grados pol debe realizarse a 20°C y de forma rápida luego de extraída la muestra, pues además de la natural inversión del azúcar, también se degradaba la pectina de la pulpa remanente de mango en galactosa, azúcar ópticamente activa y que genera por ende resultados viciados de polarimetría.
- e) En el último experimento, utilizando poliacrilamida como agente clarificante, se determinó que se debe manipular de manera especial el reactivo poliacrilamida, para esto se preparaba la solución y se mantiene en reposo durante 2 horas para lograr una “maduración” o completa hidrolización de la solución, además en este proceso se debe controlar las variables de: pH (el cual debe mantenerse entre 7 a 8.3), temperatura (76°C para agregar poliacrilamida y 102°C para permitir la reacción); y contenido de fosfatos (200 ppm como mínimo) para logran una separación de fases exitosa; lo cual se detalla en la sección 1.6.3.
- f) Se decidió utilizar la poliacrilamida en el proceso experimental, por observarse una buena clarificación y por no ser objetable su uso para consumo humano. Los demás clarificantes ensayados se utilizaron únicamente a nivel de ensayos de análisis de laboratorio.

CAPITULO III

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA CLARIFICACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE JUGO DE MANGO

Se presentan los procedimientos aplicados y los resultados obtenidos para lograr la clarificación del jugo de mango utilizando poliacrilamida como agente clarificante, algunas dificultades que se tuvieron, así como los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento y formulación óptima de agregados químicos para lograr una clarificación efectiva de jugo de mango. Se termina con una descripción del proceso seguido, para concentrar por evaporación, los azúcares presentes en las muestras de jugo clarificado de mango criollo.

3.1. PREPARACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS DE MANGO CRIOLLO PARA SOMETER A PROCESO DE CLARIFICACIÓN

Debido a la consistencia blanda y acuosa de la pulpa de mango, y que los experimentos precisan de las muestras en estado homogéneo, todas ellas se sometieron al procesamiento mediante el “Método De Desintegración Por Vía Húmeda” que consiste en separar la pulpa del mango entero, homogenizar la pulpa hasta obtener una pasta homogénea (en este caso utilizando licuadora casera) y luego utilizar un volumen establecido de agua caliente a temperaturas entre 70 y 102°C para facilitar la extracción de los azúcares de la pulpa.

Cada una de las etapas del proceso de clarificación con poliacrilamida del jugo de mango criollo, el análisis de contenido de azúcares totales por medición de grados brix, medición de viscosidad de jugo clarificado obtenido y contenido de sacarosa por HPLC se detallan en los literales a continuación.

a) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE AZÚCARES TOTALES POR REFRACTOMETRÍA PRESENTES EN LA PULPA DE MANGO CRIOLLO.

La figura 3.1 muestra el proceso seguido para obtención del análisis refractométrico de las muestras de pulpa de mango criollo con refractómetro tipo Abbe marca Bausch & Lomb modelo 10450,

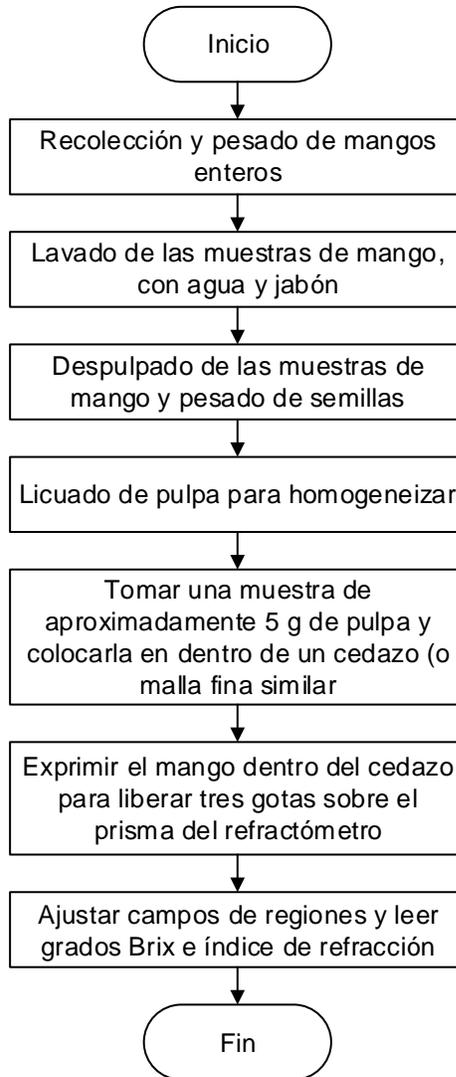


Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de medición de grados Brix para pulpa de mango

b) PROCESO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCARES A PARTIR DE PULPA DE MANGO CRIOLLO Y CLARIFICACIÓN DE JUGO OBTENIDO CON POLIACRILAMIDA.

A escala de laboratorio, fue suficiente un despulpado manual de las muestras a analizar, el procedimiento que se siguió consta en la figura 3.2

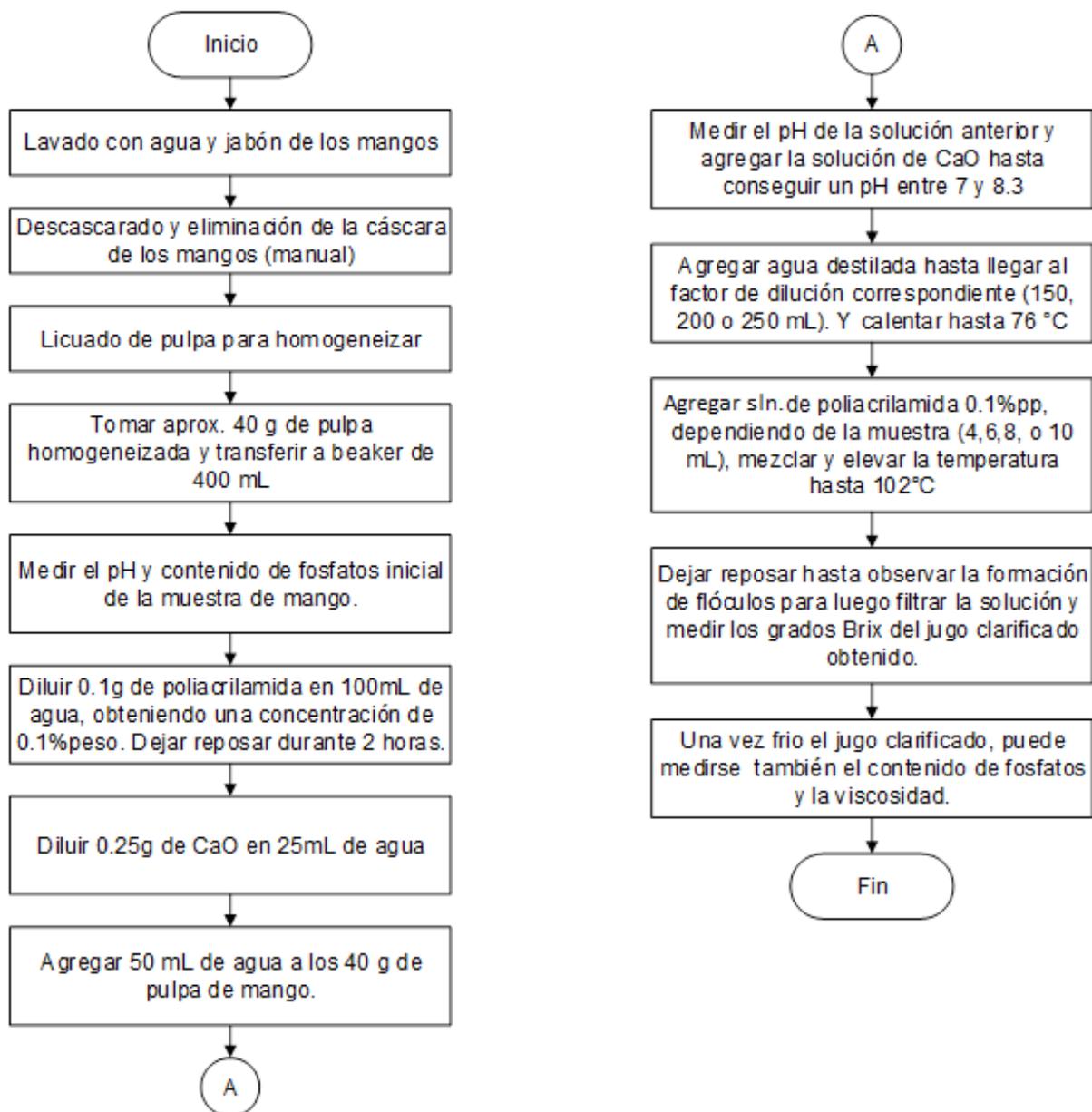


Figura 3.2 Proceso de obtención de jugo clarificado a partir de mango, utilizando poliacrilamida como agente clarificante.

c) MEDICIÓN DE VISCOSIDAD EN MUESTRAS DE JUGO CLARIFICADO.

La viscosidad resultante en el jugo clarificado fue una de las variables de control durante el experimento, pues se comprobó que un exceso en la cantidad de poliacrilamida utilizado en el proceso de clarificado del jugo resultaba en un jugo altamente viscoso y con la consistencia de un gel, mientras que una cantidad insuficiente resultaba en una mala clarificación. Se debía elegir una muestra cuya viscosidad fuese similar a la del agua y con una apreciable clarificación.

El fundamento de la mayor parte de los viscosímetros que se utilizan en la práctica es la fórmula de Poiseuille, el caudal Q (volumen de fluido por unidad de tiempo) que atraviesa un capilar de radio r y longitud l entre cuyos extremos se ha aplicado una diferencia de presiones ΔP . Utilizándose la siguiente ecuación:

$$\eta = \kappa \Delta p t \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

η = coeficiente de viscosidad del fluido en unidades Pascal.segundo .

t = tiempo que tarda el menisco del líquido en pasar entre los puntos a y b de la figura 3.5

$$\kappa = \frac{\pi r^4}{8lV} \quad (\text{ver variables en figura 3.5})$$

$$\Delta p = \rho g h \quad (\text{para el caso en que solo actúa como fuerza la gravedad})$$

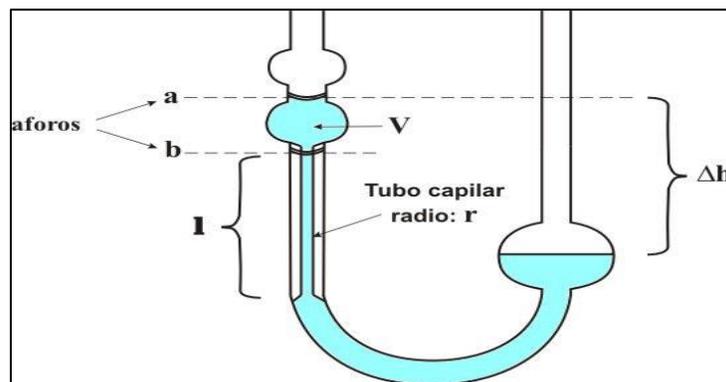


Figura 3.3 Diagrama de viscosímetro de Ostwald
(UNC, 2011)



Figura 3.4 Viscosímetro utilizado en las pruebas de laboratorio marca CANNON FENSKE modelo 4368. Laboratorio de Ingeniería Química FIA-UES

Datos medidos del viscosímetro utilizado en la planta piloto (anexo D). Para la variable t (segundo), se tomaron 10 mediciones para cada una de las muestras de jugo clarificado de mango, los cuales se muestran en promedio en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tiempo promedio que tarda el menisco del jugo clarificado en pasar entre los puntos a y b de la figura 3.3

Prueba	t (s)
1	32.26
2	26.57
3	25.87
4	27.76
5	27.13
6	25.97
7	32.39
8	26.51
9	27.32
10	26.62
11	24.34
12	25.24

Para el factor $\kappa = \frac{\pi r^4}{8lV}$; r= 1 cm, l= 5cm, V= 10 cm³

Para el factor $\Delta p = \rho gh$, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:
 ρ =densidad de cada uno de los ensayos de jugo clarificado (tabla 3.2)
 g = factor de gravedad tomando 9.8 m/s^2
 h = 10 cm de altura de la columna.

Tabla 3.2 Densidades de las diferentes pruebas del jugo de mango clarificado

Prueba	Densidad (g/cm^3)
1	1.004
2	1.0024
3	1.004
4	1.008
5	1.008
6	1.016
7	0.984
8	0.988
9	0.98
10	1.012
11	1
12	0.996

d) MEDICIÓN DE CONTENIDO DE FOSFATOS EN MUESTRAS DE PULPA Y EN JUGO CLARIFICADO

El contenido de fosfatos se determinó para las muestras iniciales de pulpa de mango y para el jugo clarificado resultante. Para esto se utiliza un kit de colorimetría por comparación (método Taylor), utilizando Cloruro de Estaño y Molibdato para desarrollar el color azul que luego será comparado.

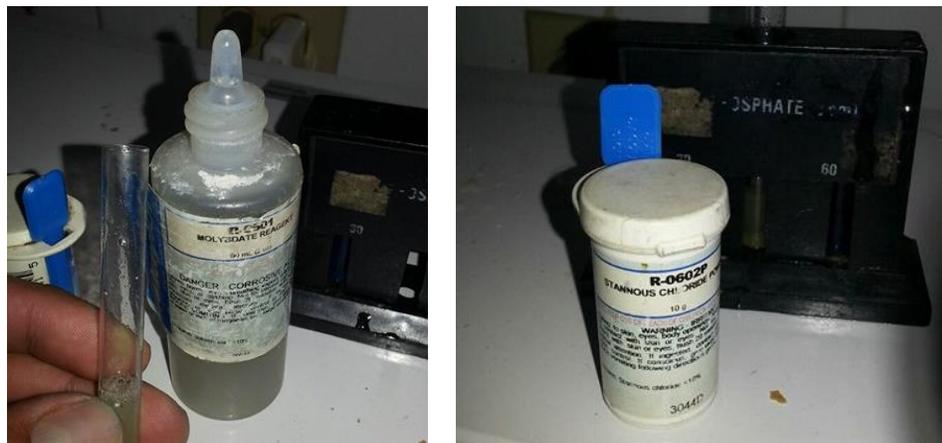


Figura 3.5 Kit de colorimetría por comparación para medición de fosfatos en muestras de jugo de mango clarificado. A la izquierda reactivo Molibdato y a la derecha Cloruro de estaño.



Figura 3.6 Preparación de muestras jugo de mango clarificado y formación de color azul para comparación



Figura 3.7 Comparación de colores para determinación de cantidad de Fosfatos en pulpa de mango.

La muestra utilizada dio un resultado superior a la escala medible por el método comparativo utilizado, por ello se procedió a diluir con agua pura la muestra de pulpa de mango crudo al 50% y volvió a realizarse la medición. El resultado obtenido fue una concentración de 60ppm según este método comparativo lo que implica que la concentración de fosfatos en la muestra pura debe ser el doble, aproximadamente 120ppm.

Utilizando el mismo método para el jugo clarificado la concentración de fosfatos fue aproximadamente entre 30ppm y 60 ppm.



Figura 3.8 Comparación de colores para determinación de cantidad de Fosfatos en jugo de mango clarificado

e) ANÁLISIS DE SACAROSA POR HPLC EN MUESTRAS DE JUGO CLARIFICADO.

El método instrumental de mayor precisión disponible actualmente para la determinación de concentración de azúcares presentes en una mezcla es la Cromatografía Líquida de Alta Precisión (HPLC por sus siglas en inglés), consiste en la separación de las moléculas por medio de su paso a través de un lecho filtrante de resina empacada en una columna que demora su tránsito proporcionalmente a los pesos moleculares de los azúcares, las moléculas más livianas atravesarán la columna más rápido y podrá ser sensadas por un detector de forma individual, brindando un resultado muy exacto y preciso.

De manera más detallada, se siguen los siguientes pasos:

e.1) MANEJO DE EQUIPO HPLC:

- Encender la computadora.
- Conectar el equipo y encender el desgasificador, la bomba, el horno de la columna, el detector y por último el controlador del sistema.
- Esperar 20 minutos a que el equipo se estabilice y que la lámpara caliente.
- Encender la bomba (Pump) en el software haciendo click en el icono correspondiente.

- Encender el horno en el software haciendo click en el icono correspondiente.
- Una vez alcanzada la temperatura de 60°C, se puede correr la línea base.
- Pasado los 15 minutos de la corrida de la línea base, verificar que ésta sea recta, si no volver a correrla.
- Abrir el inyector de muestra y voltear la perilla hacia la izquierda.
- Inyectar la muestra, asegurándose que no exista ninguna burbuja.
- Hacer clic en el icono “Start” dentro del software.
- Aparecerá la pantalla donde se colocará el nombre de la muestra, su ID, el método a usar y el Data File (colocar el nombre de la muestra) y dar OK.
- Por último, aparecerá una ventana a la cual se le debe dar OK, al mismo tiempo que se gira la perilla del inyector a la derecha (en este caso es un HPLC con muestreador manual). Esta ventana indica que la lectura debe empezar, por ello es necesario bajar la perilla ya que en ese momento la muestra estaría entrando a la columna.

e.2) PURGADO DE EQUIPO HPLC

Una parte del mantenimiento preventivo de la bomba del HPLC es el purgado, que significa eliminar burbujas y contaminantes de las mangueras que llevan la fase móvil. Para ello es necesario abrir el método de limpieza del equipo y aumentar el flujo, considerando primero al solvente A hasta que no haya burbujas y al solvente B de la misma forma. Para ello girar la manija que se encuentra en la bomba hacia la dirección open (izquierda) se verá salir las burbujas por un tubo que conecta al desecho (Arias, 2015).

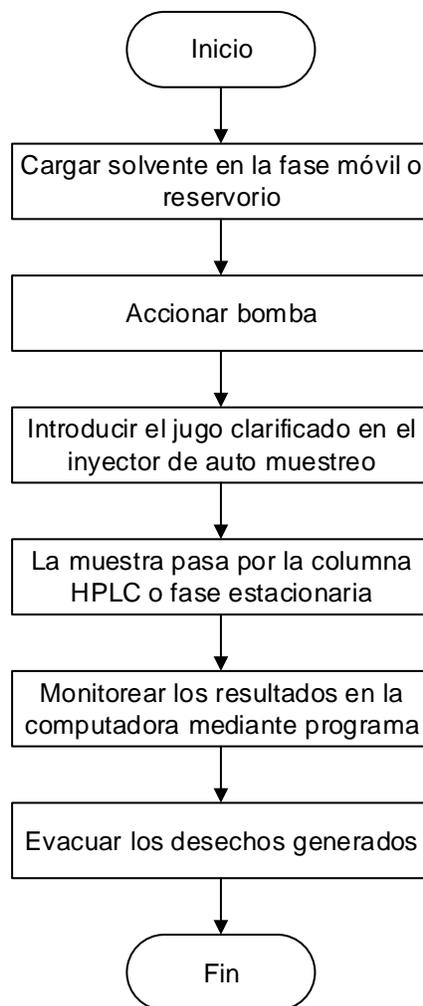


Figura 3.9 Diagrama de flujo general de procedimiento para determinación de contenido de sacarosa utilizando HPLC

3.2. DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA OBTENCIÓN DE FÓRMULA DE CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE MANGO CON POLIACRILAMIDA COMO CLARIFICANTE.

Es importante destacar que la medición de grados Brix fue esencial para estimar de forma rápida cuales de las muestras de jugo clarificado obtenido poseían las mayores concentraciones de azúcares y por ende de sacarosa, puesto que el equipo para este análisis se tuvo mucho más accesible que el método de medición de sacarosa por HPLC, del cual por su complejidad, costo y disponibilidad, solo se dispondría para confirmar el contenido de sacarosa en las muestras con mayor valor de grados brix y mejor resultado de clarificación.

La viscosidad también es una variable de control, puesto que una viscosidad elevada corresponde a una sobredosificación de clarificante (poliacrilamida), una clarificación no satisfactoria podría presentar una viscosidad similar a la del agua que es el resultado buscado pero no será factible, por lo tanto se buscó un equilibrio entre viscosidad, factor de dilución y cantidad de clarificante usado para determinar una formulación óptima preliminar; lo cual se confirmaría posteriormente con el análisis HPLC.

El procedimiento experimental para la obtención de la fórmula de clarificación del jugo de mango se planificó como un diseño de experimentos de dos factores del tipo 3^2 , en el que los factores a evaluar son: el factor de dilución y la cantidad de poliacrilamida a utilizar; y la variable respuesta fue la viscosidad resultante en el jugo de mango clarificado. Por cada experimento a realizar se agrega 40g de pulpa de mango diluido en 50ml de agua en un beaker de 500ml, se cuantificó el nivel de fosfatos, luego se calentaron hasta los 76°C y se le agregó solución de CaO hasta lograr un pH entre 7 y 8 luego se le agregó diferente cantidad de floculante y se aforó la solución según el diseño de experimento mostrado en la tabla 3.3.

Los resultados de las pruebas experimentales del diseño factorial del tipo 3^2 pueden observarse en la tabla 3.4. En la Fig. 3.10 se muestran los resultados del uso de poliacrilamida donde se observan volúmenes finales de 150 ml, 200 ml y 250 ml, utilizando 0.006 g de poliacrilamida; y se evidencia la separación de fases y la factibilidad del experimento.



Figura 3.10 Muestras de jugo de mango clarificado utilizando poliacrilamida, con volúmenes finales de 150, 200 y 250 ml respectivamente

Tabla 3.3 Niveles de factores experimentales y variable de respuesta para las pruebas de jugo clarificado de mango.

FACTORES	NIVELES	VARIABLES DE RESPUESTA
Volumen final	150 ml	Viscosidad: $\eta = \kappa \Delta p t$ $\kappa = \frac{\pi r^4}{8 l V}$, $\Delta p = \rho g h$
	200 ml	
	250 ml	
Cantidad de sln de poliacrilamida	6 ml	
	8 ml	
	10 ml	
		Ver sección 3.1 literal c

Tabla 3.4 Tabla de valores iniciales y finales obtenidos experimentalmente para el diseño factorial 3^2 de las muestras de jugo clarificado de mango criollo, utilizando poliacrilamida como agente clarificante.

Prueba	°Brix inicial	pH inicial	Volumen final (ml)	Solución de CaO (ml)	Solución de poliacrilamida (ml)	poliacrilamida ppm	°Brix de clarificado	pH final	Viscosidad (Pa.s)
1	17.2	3.7	150	8.4	4	26.67	4	7.7	24.9
2	17.2	3.7	200	8.7	4	20	2.2	7.8	20.5
3	17.2	3.7	250	8.7	4	16	2	7.8	20
4	13.4	3.4	150	10	6	40.00	3.6	7.5	21.5
5	17.6	4.1	200	8	6	30.00	3.6	7.4	21.0
6	17.06	4.1	250	8.4	6	24.00	2.46	7.2	20.3
7	13.2	3.5	150	10	8	53.33	3.8	7.7	24.5
8	13.2	3.5	200	9.5	8	40.00	2.8	7.6	20.2
9	13.4	3.6	250	9.5	8	32.00	1.8	7.2	20.6
10	17.2	3.8	150	9	10	66.67	4.10	7.2	20.7
11	17.2	3.9	200	8.5	10	50.00	2.74	8	18.7
12	17.2	3.8	250	9	10	40.00	2.6	7.5	19.3

Nota: Las primeras tres mediciones fueron datos adicionales al diseño del experimento.

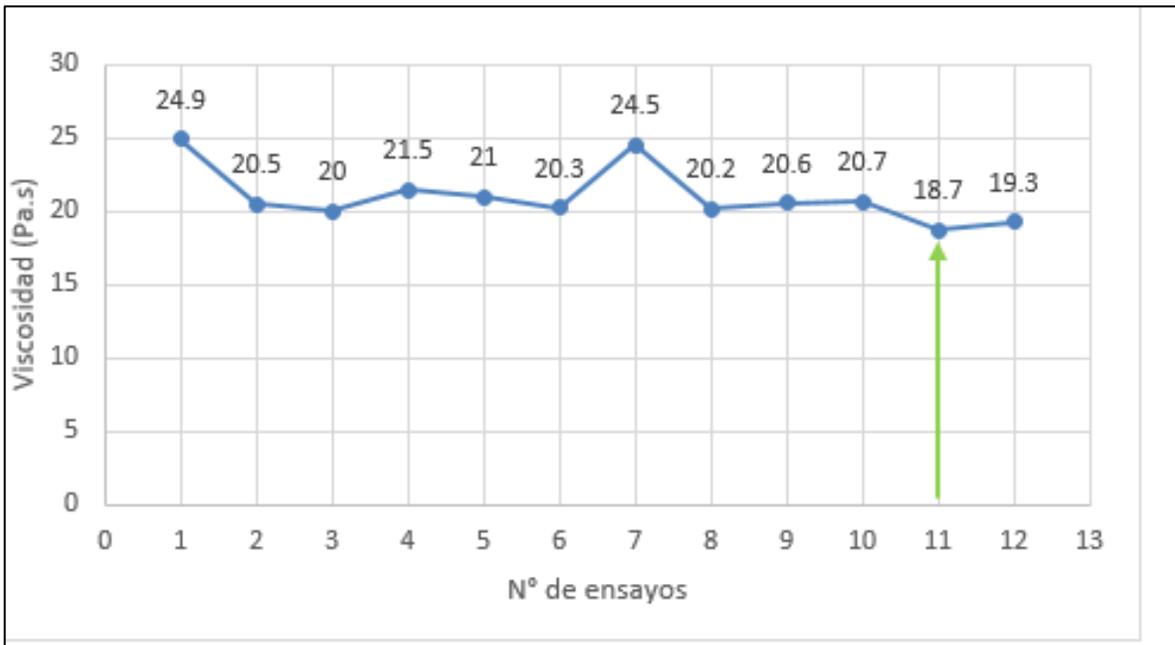


Figura 3.11 Viscosidad de las soluciones de jugo de mango clarificado, la flecha verde indica el experimento con formulación óptima entre las variables de respuesta.

Con base a los datos de la tabla 3.4 y la figura 3.11 se observa que el experimento que presentó la menor viscosidad fue el N° 11 obteniendo una viscosidad de 18.7 Pa.s con un volumen final de 200 ml y 0.010 g de poliacrilamida, se busca obtener una viscosidad baja para poder realizar de mejor manera la separación de los sólidos del jugo clarificado.

3.2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CLARIFICACIÓN DE JUGO DE MANGO.

Se realizó un Análisis de varianza (ANOVA) para mostrar el grado de significancia de los factores en la viscosidad.

Un ANOVA prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles

de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Se utilizaron las herramientas estadísticas para analizar los datos. En la tabla 3.5 se observan los valores para dar inicio al análisis estadístico.

Tabla 3.5 Tabulación de datos experimentales de jugo de mango clarificado para iniciar análisis estadístico de varianza.

Solución de Poliacrilamida (ml) [0.001g/ml]	Volumen final (ml)	Viscosidad (n)
4	150	24.9
4	200	20.5
4	250	20.0
6	150	21.5
6	200	21.0
6	250	20.3
8	150	24.5
8	200	20.2
8	250	20.6
10	150	20.7
10	200	18.7
10	250	19.3

Se procedió a comprobar la normalidad de los datos calculando los residuos (Un residuo es la diferencia entre un valor observado y su valor ajustado correspondiente) y la homogeneidad de las varianzas, para ello utilizamos las siguientes hipótesis y con un nivel de confianza del 95% (Nivel de confianza = 1 – nivel de significación α)

a) NORMALIDAD DE LOS ERRORES (RESIDUOS)

Para ello se toma en cuenta una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_i), siempre y cuando la hipótesis alternativa sea cierta, se puede determinar que los factores elegidos como independientes, afectan la variable dependiente.

H_0 = los errores tienen distribución normal

H_i = los errores no tienen distribución normal

$\alpha = 0.05$

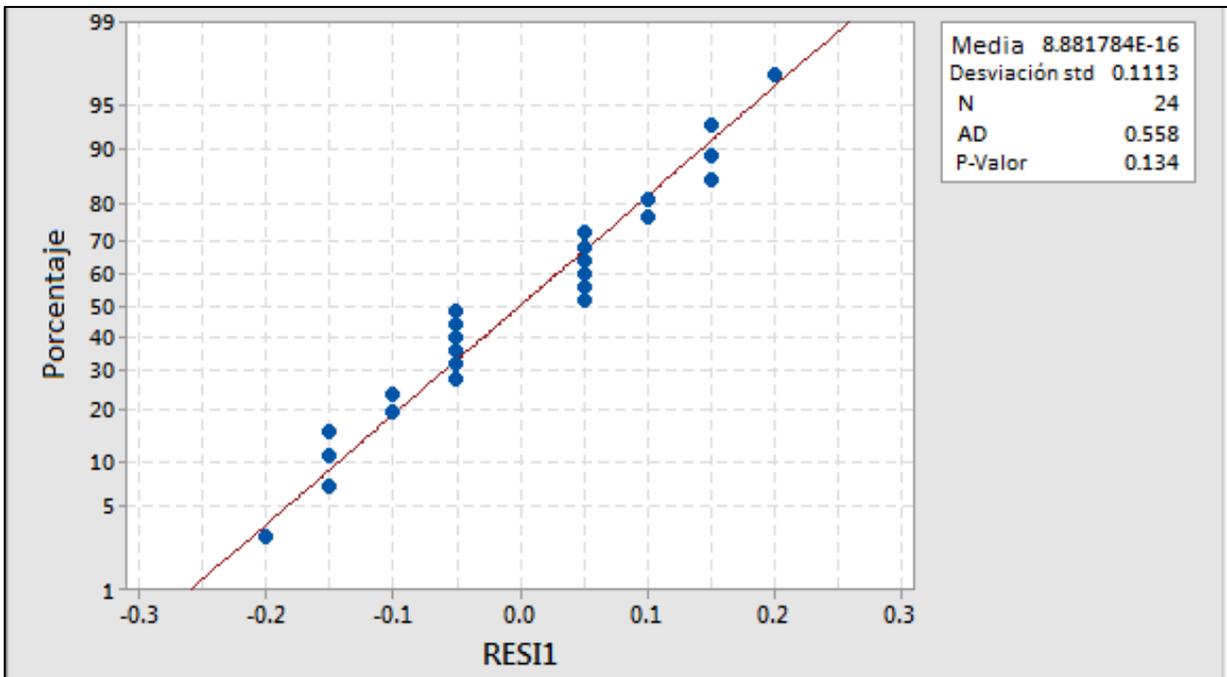


Figura 3.12 Gráfico de normalidad de los residuos (RES1), aplicados a los datos experimentales de jugo de mango clarificado.

En la figura 3.12 observamos que se cumple la hipótesis alternativa y se procede a evaluar el siguiente factor, llamado Homogeneidad de Varianzas.

b) HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

De igual manera, se analiza la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_i). En este análisis también se toma en cuenta el valor P-Value y el valor α dado que si P-Value es mayor que alfa se dice que es una prueba exitosa.

H_0 = Las varianzas son iguales

H_i = Al menos una varianza es distinta

α = 0.05

Estadístico de prueba

P – Value = 0.940

P – Value es mayor a α Las varianzas son homogéneas

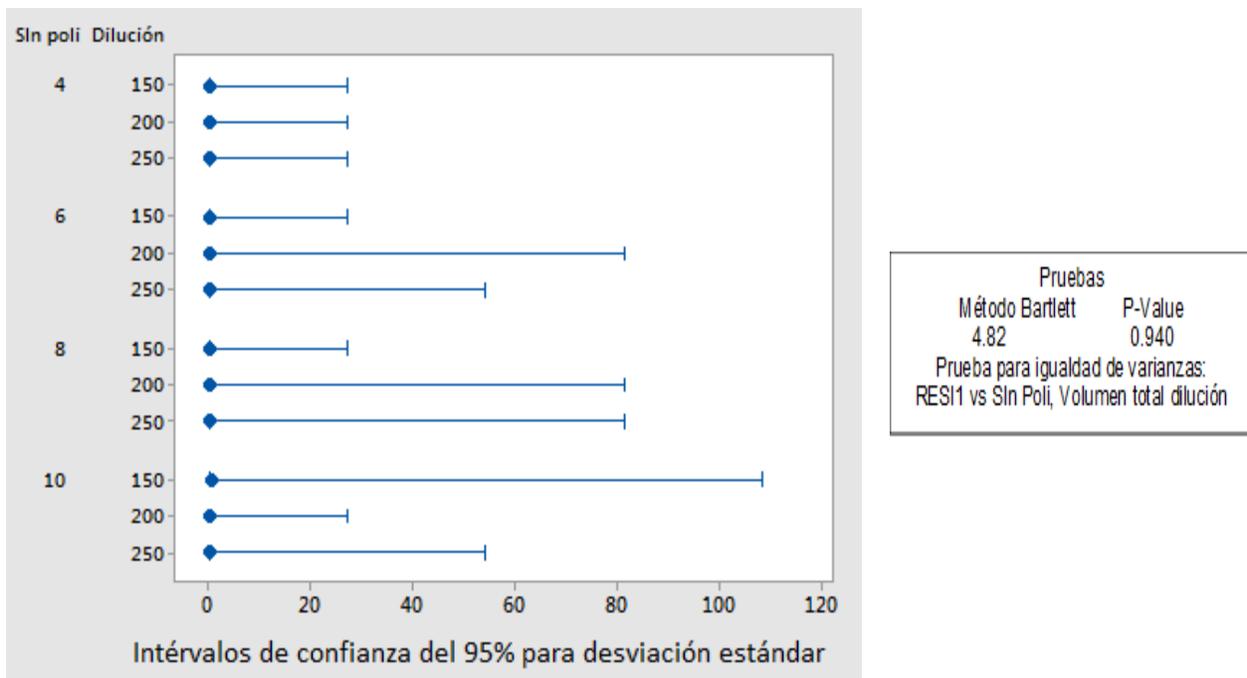


Figura 3.13 Gráfico de igualdad de las varianzas y valores de Bartlett y P-Value para los resultados experimentales obtenidos del jugo de mango clarificado

Para comprobar el nivel de significancia de los factores se evaluaron las siguientes hipótesis y el resultado de su análisis se muestra en la figura 3.14 del siguiente literal.

c) COMBINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE POLIACRILAMIDA Y FACTOR DE DILUCIÓN

Se necesitaba determinar si ambos factores intervenían en la eficacia del experimento y para ello se realizó el ANOVA, como se detalla a continuación se analizan los siguientes valores

Ho = No hay interacción entre los factores que influye en la viscosidad promedio

Hi = Hay interacción entre los factores que influye en la viscosidad promedio

$\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba

F = 109.54

P – Value = 0.000

Los valores "F" estadísticos muestran el cambio de los diferentes factores o niveles como resultado de un cambio significativo en los resultados del ensayo. Además, relaciona la interacción entre los factores y niveles.

El valor P es menor a alfa entonces, hay interacción entre ambos factores que afectan significativamente en el valor de la viscosidad promedio.

Tabla 3.6 Análisis de varianza para evaluar la significación de los volúmenes finales y concentración de poliacrilamida.

Análisis de varianza					
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Conc. Poli	3	19.9746	6.6582	280.35	0.000
Volumen final	2	40.7908	20.3954	858.75	0.000
Conc. poli*Volumen final	6	15.6092	2.6015	109.54	0.000
Error	12	0.2850	0.0238		
Total	23	76.6596			
Resumen del modelo					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0.154110	99.63%	99.29%	98.51%		

d) EFECTO DE CONCENTRACIÓN DE POLIACRILAMIDA

Se realiza el análisis de la influencia que genera la concentración de poliacrilamida en los resultados experimentales

Ho = No hay efecto de la concentración de poliacrilamida que influye en la viscosidad promedio

Hi = Hay efecto de la concentración de poliacrilamida que influye en la viscosidad promedio

$\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba

F = 280.35

P – Value = 0.000

El valor P es menor a α entonces, hay efecto de la solución de poliacrilamida que afectan significativamente en el valor de la viscosidad promedio.

e) EFECTO DEL VOLUMEN FINAL DE SOLUCIÓN

Se realiza el análisis de la influencia que genera el valor del volumen final de las muestras en los resultados experimentales.

H_0 = No hay efecto del factor de dilución que influye en la viscosidad promedio

H_1 = Hay efecto del volumen final que influye en la viscosidad promedio

$\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba

$F = 858.75$

$P - \text{Value} = 0.000$

El valor P es menor a α entonces, hay efecto del volumen final que afecta significativamente en el valor de la viscosidad promedio.

Del análisis anterior se determinó que tanto la concentración de poliacrilamida, el volumen final y la interacción de estos dos afectan significativamente a la viscosidad a continuación, se determina cuales niveles son los más eficaces para estos factores por medio de la herramienta Tukey.

f) NIVEL EFICAZ DE INTERACCIÓN ENTRE AMBOS FACTORES

El método de Tukey se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores y compara los niveles mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado.

$\alpha = 0.05$ (nivel de significación)

Comparaciones Tukey-Pairwise: Respuesta = Viscosidad, Term= Sin Poli* Volumen total dilución

Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza del 95%

Sin Poli*	Volumen total dilución	N	Media	Agrupamiento
4	150	2	24.85	A
8	150	2	24.55	A
6	150	2	21.55	B
6	200	2	21.15	B
10	150	2	20.50	C
4	200	2	20.45	C
8	250	2	20.45	C
8	200	2	20.35	C
6	250	2	20.20	C
4	250	2	20.05	C
10	250	2	19.40	D
10	200	2	18.75	E

Medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Figura 3.14 Resultados de prueba de Tukey aplicados a datos experimentales obtenidos del jugo de mango clarificado

Al evaluar la interacción de los factores mostrados en la tabla 3.3, se aprecia que estadísticamente las parejas de factores:

- 40 ppm de poliacrilamida en 250 ml de solución y
- 50 ppm de poliacrilamida en 200 ml de solución

Son estadísticamente diferentes a las demás parejas y la eficacia de la combinación para el experimento realizado se determina por presentar la menor viscosidad. Por lo cual fueron las pruebas enviadas al análisis de HPLC.

Con respecto al contenido de azúcares, los brix iniciales en pulpa de mango de la que se preparó la solución fue determinado en 17.2°Bx, y el jugo obtenido dio un resultado de 2.74°Bx, esta muestra se analizó por HPLC como se verá la tabla 3.7 el rendimiento de extracción de sacarosa fue el del valor medio de las 3 muestras enviadas a análisis por HPLC con un volumen final de 200ml de solución. Se concluye que con un nivel de significancia del 5% (nivel de confianza de 95%), se puede afirmar que los niveles de mayor eficacia son de 40 ppm a 66 ppm de poliacrilamida y 200 ml de volumen final para obtener la viscosidad más baja.

3.3. RESULTADOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE (SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA) EN EL JUGO DE MANGO CLARIFICADO UTILIZANDO ANÁLISIS POR HPLC.

Las tres muestras clarificadas (muestras 6, 10 y 11) y seleccionadas del análisis de los resultados del diseño del experimento, en función de las variables respuesta concentración en °BRIX y viscosidad, según lo descrito en la sección 3.2; se enviaron a análisis cuantitativo de los azúcares presentes en la mismas, para determinar mediante la técnica de HPLC el contenido de glucosa, fructosa y sacarosa, como resultado del procedimiento experimental aplicado.

Los análisis se realizaron en los laboratorios del Ingenio azucarero El Angel, los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.7 y los datos enviados del Ingenio en el Anexo B.

Tabla 3.7 Resultados obtenidos en análisis de azúcares por HPLC de muestras de jugo de mango clarificado de mango criollo.

Análisis	Concentración en sacarosa (g/100mL)	Concentración en fructosa (g/100mL)	Concentración en glucosa (g/100mL)	Concentración de azúcares totales (g/100mL)	Brix de jugo clarificado (Ver tabla 3.3)
Muestra 6	1.51	0.12	0.42	2.25	2.46
Muestra 10	2.66	0.25	0.49	3.4	4.10
Muestra 11	1.74	0.00	0.43	2.17	2.74

(Ref. Ingenio El Angel S.A. de C.V., 2018)

3.3.1. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCARES EN EL JUGO DE MANGO CLARIFICADO, A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR HPLC

A partir de los resultados mostrados en la tabla 3.6 y utilizando las densidades de las muestras de la tabla 3.2, se han obtenido las concentraciones en peso para las muestras analizadas.

Tabla 3.8 Concentraciones en peso de las muestras analizadas de jugo clarificado de mango criollo

Análisis	Concentración de azúcares (g/100mL)	Densidad del jugo clarificado (g/mL)	Concentración de azúcares en jugo clarificado (g/100g sln)	Concentración de azúcares extraídos en pulpa (g/100g pulpa)
Muestra 6	2.25	1.016	2.2145	5.55
Muestra 10	3.4	1.012	3.3597	8.475
Muestra 11	2.17	1.000	2.1700	5.425

Dado que el contenido de pulpa de mango en peso que se ha utilizado para cada ensayo, es de 40 g, se utilizaran factores de conversión para evaluar el rendimiento obtenido para una base de cálculo de 100 kg de pulpa.

$$\text{Relación p/p promedio de azúcares en jugo clarificado} = \frac{(5.55 + 8.475 + 5.425)/3}{100g \text{ de mango}}$$

$$\text{Relación p/p promedio de azúcares en jugo clarificado} = \frac{6.4833 g \text{ de azúcares}}{100 g \text{ de mango}}$$

$$= \frac{6.4833 kg \text{ de azúcares}}{100 kg \text{ de mango}} * 100kg \text{ mango} = 6.4833kg$$

Se obtendrían 6.4833kg de azúcares en 100kg de mango criollo entero.

Utilizando el peso promedio de los mangos usados en las muestras, el cual es 140.56 g se obtiene un área cultivada correspondiente a:

$$\frac{6.4833 g \text{ de azúcares}}{100 g \text{ de mango}} * \frac{140.56 g \text{ de mango}}{1 mango} * \frac{67,870 mangos}{1 mz} = \frac{618,494.7202 g}{1 mz}$$

$$= \frac{618.49 kg \text{ de azúcares}}{mz}$$

$$\frac{1 mz}{618.49 kg \text{ de azúcares}} * 100 kg \text{ de azúcares} = 0.1617 mz \text{ de tierra cultivada}$$

Por lo que para producir 100 kg de azúcares se necesitaría 0.1617 mz de tierra cultivada.

3.3.2. PRESENCIA DE DEXTRANAS EN JUGO DE MANGO CLARIFICADO

Es importante destacar un punto sobre la presencia de dextranas en las muestras analizadas por HPLC (ver anexo b). Las dextranas son polisacáridos de glucosa (cadenas de glucosa muy ramificadas cuyo enlace predominante es 1alfa-6, pero que presenta ramificaciones alfa 1-2, alfa 1-3 y alfa 1-4, según las especies), producidos por la hidrólisis de sacarosa ocasionada por la bacteria *Leuconostoc mesenteroides* como parte de su metabolismo y polimerización de la glucosa. Se consideran pérdidas de sacarosa en el proceso azucarero y una variable de control por el potencial de contaminación que representan para la producción de azúcar.

Dado que el mango no es un cultivo que crece teniendo contacto directo con el suelo que es el medio natural de la bacteria en cuestión, se considera que la presencia de dextranas en las muestras analizadas puede deberse a los siguientes factores.

- a) Acción de insectos como mosca de la fruta, cuya acción consiste en la inyección de huevecillos en la superficie madura de la fruta para iniciar su incubación. Estos insectos acostumbran alimentarse de fruta que ha caído en el suelo y pueden contaminarse de dicha bacteria y ser un vector de transmisión.
- b) Cabe pensar en una investigación exclusivamente dedicada a estudiar si la existencia de sacarosa en las frutas conlleva a la aparición espontánea de ciertas cantidades de dextranas por acción o no del *Leuconostoc mesenteroides* o por una hipotética auto acción enzimática de algún o algunos compuestos no investigados del mango criollo.

Se consultó con la persona responsable del laboratorio donde se realizaron los análisis (Méndez, 2018) y efectivamente los equipos de medición HPLC cuentan con la calibración para detectar dextranas pero se descarta una contaminación de las columnas del equipo puesto que estos dispositivos poseen el medio para advertir al analista cuando la columna se encuentra contaminada con este polisacárido, hecho no observado durante la realización de los análisis.

Cabe mencionar que las muestras no fueron analizadas microbiológicamente, dado que en un inicio no se contaba con la presencia de dextranas.

3.4. PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO PARA CONCENTRACIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE MANGO CRIOLLO.

Siendo uno de los objetivos de la investigación realizada, la obtención de jugo concentrado en azúcares, las muestras obtenidas del experimento de clarificado, varían entre 75ml y 120ml, por lo que se sometieron a evaporación en “baño de maría” con la finalidad de obtener un jugo concentrado alrededor de 50 a 60 °Brix.

Se tuvo el cuidado de no exceder los 100°C al aumentarse el punto de ebullición conforme se concentraban los azúcares presentes en el jugo para evitar la formación de color e inversión excesiva de la sacarosa; la cual tiene lugar con temperaturas mayores a 107°C

Experimentalmente se verificó la temperatura de ebullición del agua pura a las condiciones atmosféricas del laboratorio, las cuales fueron $T=95.0^{\circ}\text{C}$ a la que corresponde una presión de 84.53kPa (Smith, 2007) según bibliografía consultada el punto de ebullición de una solución de sacarosa y agua es prácticamente igual al del agua a concentraciones debajo de 20°Bx (Rein, 2012), el cual era el caso para todos los jugos clarificados obtenidos anteriormente.



Figura 3.15 Baño de maría utilizado para concentrar el jugo de mango clarificado.

En la figura 3.15 el recipiente externo se llena de agua que absorbe calor directamente de la llama y al ebullición transfiere calor a temperatura constante al recipiente interno.

A medida que el jugo se concentre, el punto de ebullición aumentará, para evitar superar los 100°C, se recurrió a la bibliografía (Rein, 2012) para saber que dada la presión atmosférica a la que se realizaría la evaporación, la concentración máxima que podía lograrse era aproximadamente 71°Bx no excediendo los 100°C en el jugo.

Para facilitar la transferencia de calor del baño, debe existir un gradiente de temperatura entre el baño y la muestra a evaporarse, estimando que el volumen de agua del baño consista en aproximadamente 300ml de agua, se adicionará con 100g de NaCl (sal común) para elevar el punto de ebullición a 105°C aproximadamente.

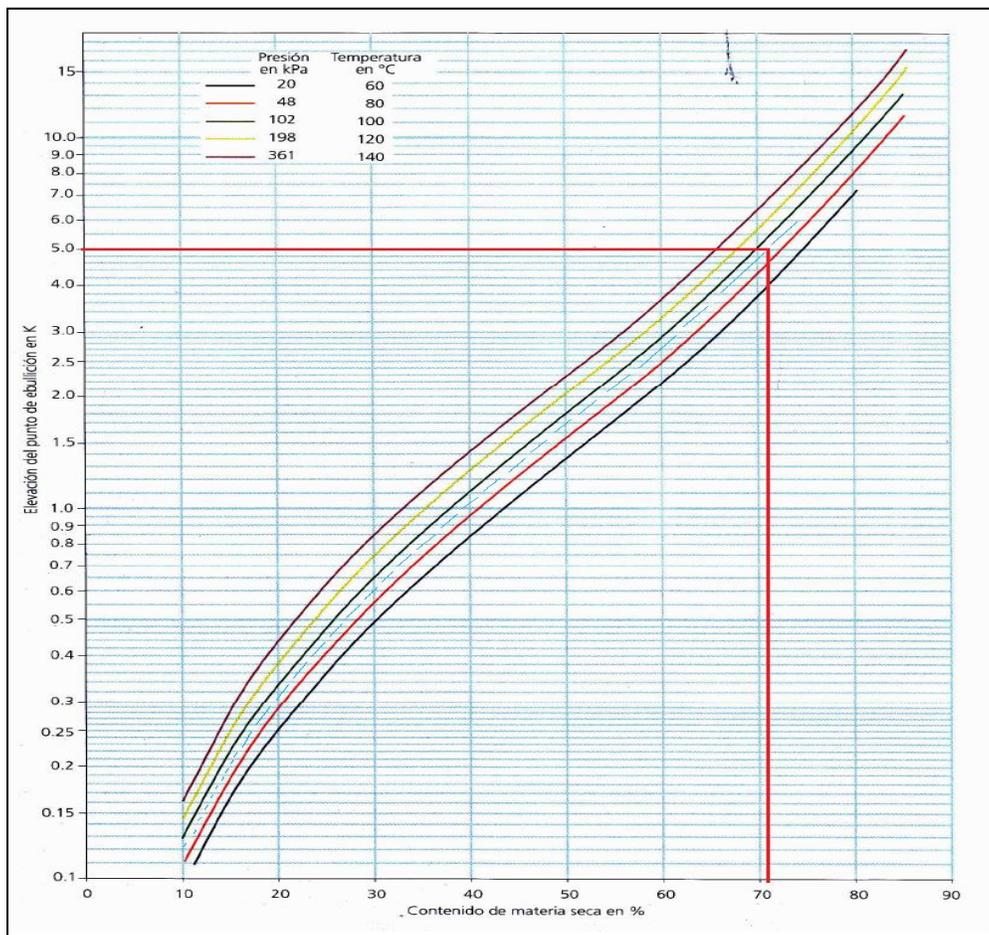


Figura 3.16 Diagrama Elevación del punto de ebullición solución de sacarosa
Fuente: (Rein, 2012)

En la figura 3.16 se observa la elevación del punto de ebullición en función de contenido de masa seca o sólidos disueltos totales ($^{\circ}\text{Bx}$), la línea roja indica la concentración alcanzable y aumento del punto de ebullición correspondiente a la presión de laboratorios (línea de color celeste punteada) (Rein, 2012).

3.4.1. RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE MANGO CRIOLLO

Para el experimento de clarificación se utilizaron las muestras de jugo clarificado 4 y 5 con contenido de grados brix de 3.6 cada uno, y se usaron 80ml de jugo de cada uno para proceder a la concentración.



Figura 3.17 Ensayo de laboratorio para obtención del jugo de mango concentrado a partir de jugo clarificado de mango.

En la figura 3.17 se observa a la izquierda el equipo utilizado para la concentración del jugo clarificado por baño de maría: cocina, olla y termómetro, nótese el límite alcanzado de 100°C según el diseño planteado del experimento en el capítulo 2. A la derecha, el número 1 se encuentra en la ubicación interna del beaker con las muestras de jugo y el número 2, el escape del vapor y entrada de sonda del termómetro.

La olla utilizada disponía de un agujero en su tapa de diámetro suficiente para permitir la constante salida de vapor y la entrada de la sonda del termómetro para monitorear la temperatura alcanzada del jugo concentrado. La temperatura del baño

se mantuvo aproximadamente en 105°C para facilitar la transferencia de calor al jugo clarificado contenido en un beaker dentro de la olla.

Tabla 3.9 Resultados del experimento de concentración por evaporación de jugo clarificado de mango

Muestras de jugo clarificado	°Brix iniciales	Volumen utilizado	°Brix finales	Volumen final	Aumento de grados brix
4	3.6°Bx	80ml	54°Bx	5.2ml	50.4
5	3.6°BX	80ml	58°Bx	4.9ml	54.4

El tiempo para alcanzar esta concentración fue de aproximadamente 4 horas por cada experimento, renovando constantemente el agua del baño. Aunque es posible teóricamente lograr una concentración aproximada de 71°Bx, esto no se llevó a cabo debido a que el volumen resultante hubiese sido aún menor que los resultantes y podría dificultar su recuperación.

Además, por la geometría del beaker utilizado, al caer el nivel del jugo, el vapor tenía más dificultad en escapar y la concentración demoraba más.



Figura 3.18 Jugo concentrado en sacarosa obtenido por evaporación de jugo clarificado, izquierda, jugo concentrado a 50.4°Bx, derecha, jugo concentrado a 54.4°Bx

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE JUGO CLARIFICADO

En proceso de clarificación, se utilizaron reactivos químicos, energía y agua, tomando como materia prima principal el mango criollo.

Al conocer los valores promedio teóricos de los nutrientes contenidos en el mango (ver tabla 1.2), como lo son el calcio, proteínas, lípidos, carbohidratos, energía, agua y azúcares totales, se podrá hacer una comparación para determinar si se ha obtenido una buena extracción de azúcares mediante el proceso propuesto.

Las características que se analizaron experimentalmente para el mango y para el jugo clarificado obtenido, son: la cantidad de sólidos totales disueltos (expresados en grados brix), pH, viscosidad, contenido de fosfatos. La tabla 3.5 compara las características obtenidas experimentalmente y los datos obtenidos mediante búsqueda bibliográfica, para los parámetros de interés.

Tabla 3.10 Comparación de datos teóricos vs datos obtenidos experimentalmente para el mango criollo crudo.

Parámetro	Referencia	Valor experimental promedio en mango crudo	Valor experimental promedio en jugo clarificado
Brix	-	15.92	3.1
pH	3-5.24 (Correa)	3.4-4.1	7.46
Fosfatos	No disponible	Mayor a 120ppm	30-60 ppm
Azúcares totales	13.64 % p/p (Correa)	6.4833 %p/p (extraído de muestra de 40g)	2.7633 % p/p

Para conocer el contenido de azúcares presentes en el jugo clarificado obtenido a base de mango criollo, se procedió a realizar la prueba HPLC, por sus siglas en inglés (High Performance Liquid Chromatography), técnica utilizada comúnmente en los Ingenios azucareros para el mismo fin.

3.5.1. RENDIMIENTO TEÓRICO DE SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA EN EL JUGO DE MANGO CLARIFICADO

Para poder hacer una comparación, y determinar la eficiencia del proceso de obtención de jugo clarificado, se debe tener un punto de referencia, el cual nos indica el contenido de azúcares que pueden ser obtenidos del mango criollo, dado que existen diversas fuentes, se detalla a continuación, en la tabla 3.2, el contenido de azúcares provenientes del mango.

Tabla 3.11 Contenido de azúcares totales en el mango

Contenido de azúcares %pp	Referencia
13.64	(Correa)
16.8	(SANDRA MILENA OSPINA HENAO, 2012)
13.66	(USDA, 2016)

Tomando en cuenta que el rendimiento promedio de cultivo de mango en El Salvador es de 67,870 mangos por manzana (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2013), se calcula el rendimiento teórico de azúcares que se puede obtener a partir del mango.

Tomando en cuenta los tres porcentajes encontrados en la bibliografía se obtendrá un promedio.

$$\%pp \text{ de azúcares en mangos} = \frac{(13.64 + 16.8 + 13.66)\%}{3}$$

$$\%pp \text{ de azúcares en mangos} = 14.7\% = \frac{14.7 \text{ g de azúcares}}{100 \text{ g de mango}}$$

Se pueden obtener 14.7kg de azúcares totales por cada 100kg de mango criollo entero crudo.

Según datos obtenidos mediante pesado de 47 mangos criollos, el peso promedio de estos es 140.56 g por lo cual se calcula:

En superficie de terreno cultivado corresponde a:

$$\frac{14.7 \text{ g de azúcares}}{100 \text{ g de mango}} * \frac{140.56 \text{ g de mango}}{1 \text{ mango}} * \frac{67,870 \text{ mangos}}{1 \text{ mz}}$$

$$= \frac{1,402,350 \text{ g de azúcares}}{\text{mz}} = \frac{1,402.35 \text{ kg de azúcares}}{\text{mz}}$$

$$\frac{1 \text{ mz}}{1,402.35 \text{ kg de azúcares}} * 100 \text{ kg de azúcares} = 0.0713 \text{ mz}$$

Por lo que para producir 100 kg de azúcares se necesitaría 0.0713 mz de tierra cultivada.

3.5.2. CÁLCULO DE RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCARES RESPECTO DE LA CANTIDAD DE AZÚCARES TOTALES EN PULPA DE MANGO CRIOLLO.

La cantidad de azúcares que pueden ser extraídos del jugo clarificado se ha obtenido de la siguiente manera:

Paso 1. Se ha multiplicado el volumen total por la densidad del jugo para obtener el contenido neto en gramos.

Ejemplo:

Volumen total en muestra (6) = 250 mL (volumen final de 250mL)

Densidad en jugo clarificado de muestra (6) = 1.016g/mL

$$\text{Peso neto en muestra 6 (g)} = 250\text{mL} * \frac{1.016\text{g}}{\text{mL}} = 254 \text{ g}$$

Paso 2. El contenido total en gramos se ha multiplicado por el porcentaje de azúcares (%peso) para obtener los gramos de azúcar contenidos en el jugo.

Ejemplo:

Peso neto de muestra (6) = 254 g

Porcentaje peso de azúcares en muestra (6)= 2.2145% pp

$$\text{Contenido total de azúcares en jugo clarificado No. 6} = 254 \text{ g} * \frac{2.2145\text{g}}{100\text{g}} = 5.448 \text{ g}$$

Paso 3. El peso inicial de pulpa que se utilizó en cada muestra se ha multiplicado por el porcentaje expresado en grados Brix para obtener el contenido de sólidos totales iniciales que poseía la pulpa de mango.

Ejemplo:

Peso en pulpa utilizado en muestra 6 = 40.5 g.

Brix de pulpa utilizada en muestra 6= 17.6 °Brix

$$\text{Contenido de azúcares en pulpa} = 40.5\text{g} * \frac{17.6 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 7.128\text{g}$$

Paso 4. la cantidad obtenida en el paso 2, ha dividido entre la cantidad obtenida en el paso 3, para obtener el porcentaje de extracción que se ha tenido.

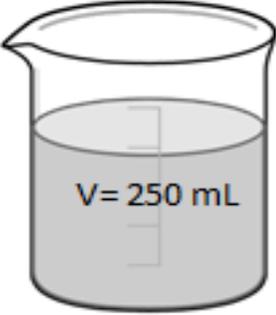
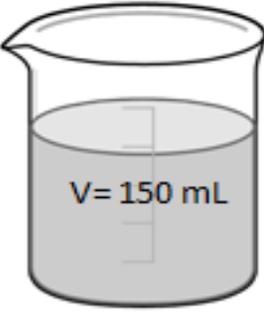
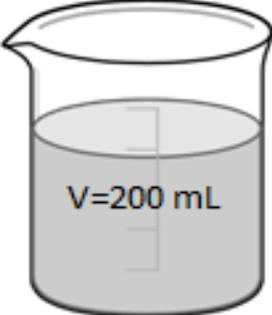
Contenido de azúcares en jugo clarificado de muestra 6= 5.448 g

Contenido de azúcares en pulpa utilizada para muestra 6= 7.128 g

$$\text{Rendimiento} = \frac{5.448 \text{ g}}{7.128 \text{ g}} * 100 = 79.84\%$$

El rendimiento como puede apreciarse se eleva al aumentar el volumen final, esto es debido a que la baja saturación de azúcares del agua de disolución permite una mejor extracción de las mismas de la pulpa de mango, sin embargo esto no es un factor decisivo en la escogitación de la fórmula, y de hecho como puede verse en la tabla 3.10, la muestra con mayor rendimiento, es la muestra con menor concentración de sacarosa.

Tabla 3.12 Rendimiento de extracción de azúcares respecto de azucares totales en pulpa de mango

Análisis	Rendimiento obtenido $\frac{\text{g de azúcar extraído}}{\text{g azúcar totales en pulpa}} * 100$
Muestra 6 	79.84%
Muestra 10 	74.99%
Muestra 11 	63.08%

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO PROPUESTO DE PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN SACAROSA, A PARTIR DE MANGO CRIOLLO.

El proceso de obtención de azúcar a partir del mango maduro clase indio vendría siendo una combinación de procesos de obtención de jugo sin clarificar, mediante el procesamiento mecánico de la pulpa de mango y luego procesamiento de este para obtener el jugo clarificado concentrado en azúcares, las etapas del proceso serían las siguientes: cosecha y recolección del mango, transporte de la fruta, limpieza de la fruta (incluyendo la desinfección), descascarado y despulpado, procesamiento químico de floculación/coagulación, filtrado de jugos, hasta concentración del jugo obtenido. En la figura 4.1 se muestra un esquema general del proceso de obtención del jugo concentrado en azúcares a partir de la pulpa de mango. Luego se detallan los cálculos de balances de materia y energía que comprenden en cada una de las etapas.

4.1. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN PROCESO DE OBTENCIÓN DE AZÚCARES EN JUGO

Un balance de masa es una hoja de ruta o mapa de vital importancia para todo proceso industrial, consiste en un cálculo teórico de cantidades de materia (ya sea en moles o masa) implicado en las reacciones o transformaciones fisicoquímicas desarrolladas a través de los procesos, desde la entrada como materia “cruda” hasta el producto final obtenido. En la figura 4.1 se muestra un esquema muy simplificado del proceso planteado a nivel industrial para obtener el jugo clarificado de mango y las materias entrantes y salientes. El producto final deseado es el jugo clarificado concentrado en azúcares.

Evidentemente también es necesaria la adición de energía en diversas maneras durante el proceso industrial como calor necesario para la evaporación de los jugos, y electricidad para todas las demás etapas y equipos.

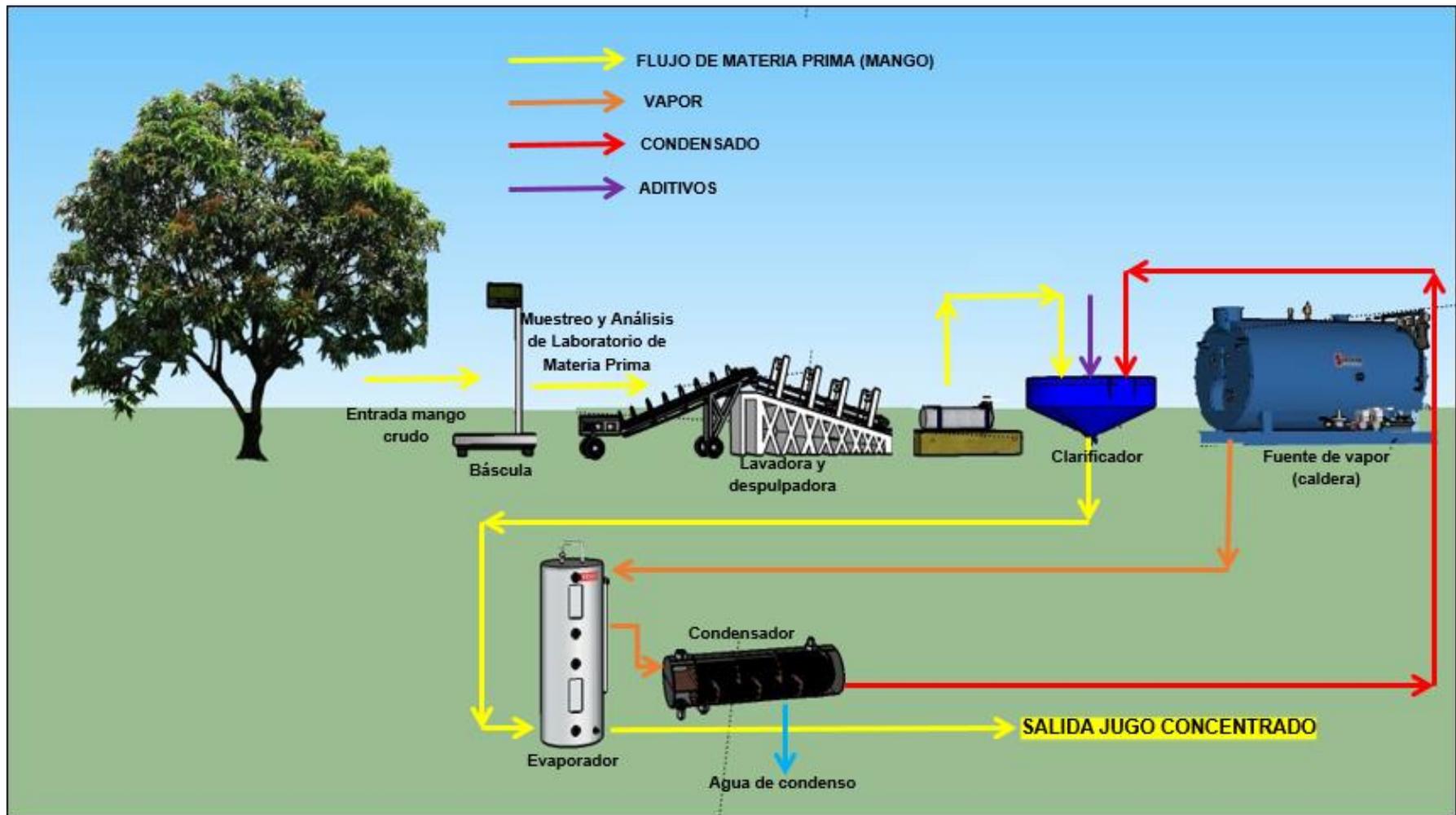


Figura 4.1 Bosquejo de planta productora de jugo de mango clarificado concentrado en azúcares a partir de mango criollo.

4.1.1. BALANCES DE MATERIA PARA PROCESO PROPUESTO DE OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN SACAROSA A PARTIR DE MANGO CRIOLLO

El balance de materia se presenta en forma de tablas de datos a partir del esquema de la figura 4.1 y las cantidades de entradas y salida en base al proceso experimental de despulpado manual.

Base de cálculo: 100kg de mango entero por día

Tabla 4.1 Composición promedio determinada del mango

COMPONENTE	%p/p
Humedad (agua)	81.0
Cenizas	0.5
Sacarosa	8.75
Otros azúcares	4.89
Fibra cruda	1.6
Otros compuestos	3.26
Total (pulpa)	100
Cáscara de mango	10.0

Fuente: (Correa)

Tabla 4.2 Etapa de despulpado y macerado de mangos criollos.

Despulpado y macerado	Entrada (kg)	Adición (kg)	Pérdidas por inversión (kg)	Otras perdidas (kg)	Salida (kg)	% Sacarosa en jugo
Sacarosa	8.7500	0.0000	0.0000	0.4375	8.3125	9.80392157
Otros azucares	4.8900	0.0000	0.0000	0.2445	4.6455	-
Fibras de pulpa	1.6000	0.0000	0.0000	0.0800	1.5200	-
Agua	80.5000	0.0000	0.0000	4.0250	76.4750	-
Otras sustancias	4.2600	0.0000	0.0000	0.2130	4.0470	-
Total	100.0000	0.0000	0.0000	5.0000	95.0000	-

En la tabla 4.2 las entradas se basan en la información de la composición química típica de la pulpa de mango criollo (se excluye de esta cuantía la masa correspondiente a semilla puesto que no se considera en las tablas de composición

consultadas en la literatura y bases de datos), se indica una pérdida experimentalmente determinada de cinco por ciento de pulpa desechada en cáscara y una cantidad respectiva de todas las sustancias constitutivas de la pulpa.

Según el diseño, la pulpa macerada pasa instantáneamente al siguiente subproceso de extracción de azúcares, por lo tanto, no se consideran pérdidas de sacarosa por inversión en esta etapa, pero si se han calculado para la siguiente.

Tabla 4.3 Etapa de extracción de azúcares de pulpa macerada de mango

Extracción azúcares	Entrada (kg)	Adición (kg)	Pérdidas por inversión (kg)	Otras pérdidas (kg)	Salida (kg)	% Sacarosa en jugo
Sacarosa	8.3125	0.0000	0.0416	0.0000	8.2709	3.19803094
Otros azúcares	4.6455	0.0416	0.0000	0.0000	4.6871	
Fibras de pulpa	1.5200	0.0000	0.0000	0.0000	1.5200	
Agua	76.4750	173.8800	0.0000	0.0000	250.3550	
Otras sustancias	4.0470	0.0000	0.0000	0.0000	4.0470	
Total	95.0000	173.9216	0.0416	0.0000	268.8800	

En la tabla 4.3 se considera una pérdida por inversión de medio punto porcentual, se destaca una adición de agua destilada en una proporción de 1:2.27 para la extracción de azúcares contenidas en la pulpa del mango. En el balance de energía del numeral siguiente se considerarán aspectos como la temperatura necesaria de estos efluentes.

Se estima una pérdida por inversión de 0.05% de la sacarosa entrante durante este proceso de 40 minutos de duración.

Tabla 4.4 Etapa de clarificación de jugo de mango utilizando poliacrilamida

Clarificación	Entrada (kg)	Adición (kg)	Pérdidas por inversión (kg)	Otras pérdidas (kg)	Salida (kg)	% Sacarosa en jugo
Sacarosa	8.2709	0.0000	0.0002	0.0000	8.2707	2.55762483
Otros azúcares	4.6871	0.0002	0.0000	0.0000	4.6873	
Fibras de pulpa	1.5200	0.0000	0.0000	0.0000	1.5200	
Agua	252.6050	62.5000	0.0000	0.0000	315.1050	
Otras sustancias	4.2970	0.2550	0.0000	0.0000	4.5520	
Total	268.8800	62.7552	0.0002	0.0000	331.6354	

Para efectuar la clarificación se adicionan 0.25kg de clarificante (poliacrilamida) disuelto en 2.25kg de agua, un 0.05% v/v del volumen total, fórmula determinada experimentalmente como la óptima en los ensayos de clarificación. El cuadro sombreado en amarillo indica pérdida de sacarosa por inversión calculada con ecuaciones de Vokub (Rein 2012) a 40 minutos de resiliencia de clarificación. Indica la cantidad de agua que se adiciona como lechada de Ca(OH)_2 y la cantidad determinada de CaO en polvo necesaria para preparar la lechada antes descrita para llevar el pH hasta 8.0.

Tabla 4.5 Etapa de filtrado de jugo clarificado de mango criollo.

Filtrado y prensado	Entrada (kg)	Adición (kg)	Pérdidas por inversión (kg)	Otras pérdidas (kg)	Salida (kg)	% Sacarosa en jugo
Sacarosa	8.2707	0.0000	0.0099	0.0036	8.2572	2.57718381
Otros azúcares	4.6873	0.0099	4.6515	0.0036	0.0421	
Fibras de pulpa	1.5200	0.0000	0.0000	1.5200	0.0000	
Agua	312.8550	0.0000	0.0000	0.7144	312.1406	
Otras sustancias	4.3020	0.2550	0.0000	2.9800	1.5770	
Total	331.6299	0.2649	4.6615	5.2215	327.284	

Experimentalmente se determinó que la humedad mínima de la torta de filtrado es aproximadamente de un 32%, en la excreción de la torta de filtrado se pierde por lo tanto una cantidad correspondiente de jugo con 0.05°Bx determinado experimentalmente en los ensayos de clarificación. El recuadro sombreado en amarillo corresponde a las pérdidas por inversión suponiendo un proceso de 20 minutos de duración, que equivale a un 0.0012% de inversión calculado con la ecuación de Vokub, cantidad que se adiciona otros azúcares, esencialmente glucosa y fructosa.

El recuadro sombreado en gris corresponde a las pérdidas obtenidas por la eliminación de sacarosa contenida en la humedad que acompaña a las fibras de pulpa que teóricamente se desechan todas.

4.1.2. BALANCES DE ENERGÍA PARA PROCESO PROPUESTO DE OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN SACAROSA A PARTIR DE MANGO CRIOLLO

Para el detalle del balance de energía se considerará el equipo a utilizar y a continuación un estimado del consumo de energía para aparatos como motores en función del tiempo y procesos termodinámicos en lo que se implica calor.

Tabla 4.6 Consumos eléctricos para el proceso de obtención de jugo clarificado proveniente del mango.

ETAPA	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (HP)	TIEMPO DE OPERACIÓN (min)	CONSUMO (kJ)
Despulpado	Motor despulpadora	2.00	2.00	5.00	895.20
Despulpado	Motor banda de tolva de alimentación transportadora	1.00	2.00	5.00	447.60
Despulpado	Bomba de pulpa	1.00	1.00	5.00	223.80
Extracción azúcares	Bomba de agua destilada	1.00	1.00	15.00	671.40
Extracción azúcares	Agitador de tanque de extracción	1.00	2.00	40.00	3580.80
Clarificación	Bomba de jugo	1.00	1.00	10.00	447.60
Clarificación	Mezcladora lechada cal	1.00	0.25	30.00	335.70
Clarificación	Bomba de lechada	1.00	0.75	10.00	335.70
Filtrado	Bomba de jugo	1.00	1.00	10.00	447.60
General	Equipo auxiliar durante todo el proceso	1.00	1.00	60.00	2685.60
Total					1342.80

La tabla 4.6 muestra un estimado de consumos eléctricos necesarios para una base de cálculo de 100kg de mango crudo.

Para el balance termodinámico, el proceso es un cambio de estado de agua de las siguientes condiciones

Tabla 4.7 Variables termodinámicas del agua

ESTADO	PRESIÓN	TEMPERATURA
1	1 bar	25°C
2	1 bar	70°C

Fuente: (Gordon J. Van Wylen, 1980)

El diagrama termodinámico de las variables de proceso anterior se puede observar en la figura 4.2.

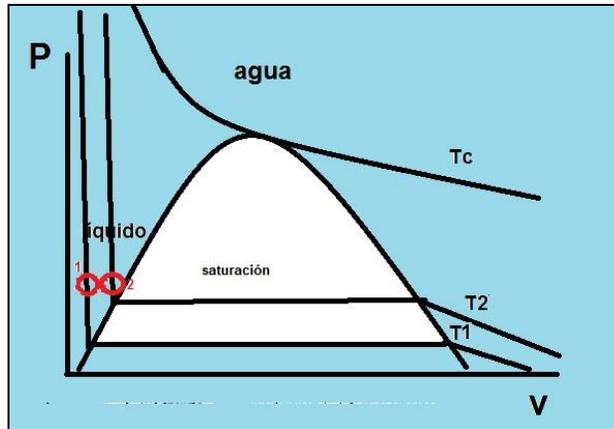


Figura 4.2 Cambio de estado termodinámico del agua empleada en proceso de concentración de jugo de mango clarificado.

Tomando en cuenta el cambio de fase, se efectuó la neutralización del jugo por adición de CaO a 70°C

El cálculo de energía necesario puede estimarse con el Cp o capacidad calorífica del agua y la cantidad de agua a someterse a este proceso igual a la contenida en pulpa inicialmente 80.50kg más la adicionada en la etapa de extracción 76.475kg, en total 156.97kg.

$$Q_1 = mC_p\Delta T = 156.97kg \left(\frac{4.17kJ}{Kg^\circ C} \right) (70^\circ C - 25^\circ C) = 29455.42kJ$$

Este cálculo se ajusta estrictamente a la cantidad necesaria de energía para cambiar la temperatura del jugo de mango para facilitar la extracción de azúcar y la clarificación. Existe un segundo proceso en el que se necesita incrementar la temperatura del jugo desde los 70°C hasta los 105°C que es la temperatura optima de la poliacrilamida, en este caso el cálculo de energía se puede hacer del estado 2 a 3 y de 3 a 4 un cambio no isóbaro que puede obtenerse de tablas.

Tabla 4.8 Cambio de condiciones para clarificación de jugo de mango.

Estado	Presión	Temperatura	Entalpía (kJ/kg)
2	1 bar	70°C	-
3	1.0 bar	100°C	417.46
4	1.25 bar	105°C	467.97

Fuente: (Gordon J. Van Wylen, 1980)

$$Q_2 = mC_p\Delta T = 156.97kg \left(\frac{4.17kJ}{Kg^{\circ}C} \right) (100^{\circ}C - 70^{\circ}C) = 19636.95kJ$$

$$Q_3 = m\Delta h = 156.97 \left(\frac{467.97kJ}{kg} - \frac{417.46kJ}{kg} \right) = 7793.561kJ$$

Lo que da un total de

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 29455.42kJ + 19636.95kJ + 7793.561kJ = 56885.93kJ$$

4.1.3. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA PARA PROCESO DE CONCENTRACIÓN DE JUGO DE MANGO CLARIFICADO

El valor aproximado de entrada de jugo a la etapa de concentración es entre 3° y 4° Brix, por lo tanto, es necesario elevar la concentración mediante evaporación.

La elevación del punto de ebullición del jugo de una solución de agua y azúcares es despreciable por debajo de 20°Bx (Rein 2012), por lo tanto, la estimación de la energía necesaria puede hacerse mediante un simple balance de masa y energía, calculando la masa de agua que hace falta retirar para elevar la concentración, y la energía necesaria para evaporar dicha agua.

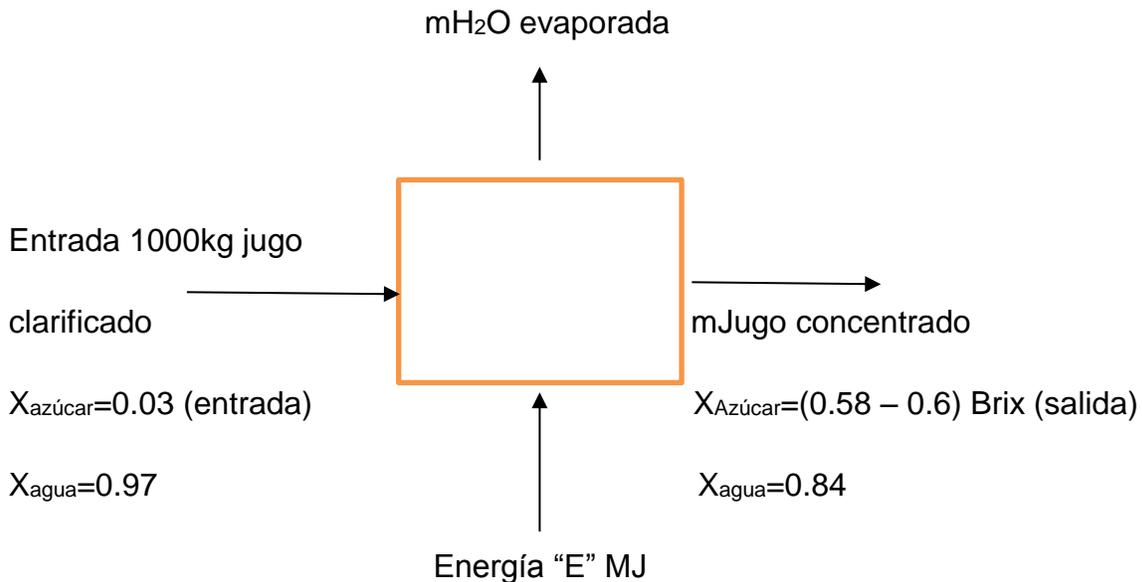


Figura 4.3 Esquema de evaporación de agua para concentración de jugo de mango clarificado

Balance de masa:

- Base 1000kg de jugo clarificado de pulpa de mango
- densidad aproximadamente 1000kg/m³ (Ver tabla 3.2)

Balance total:

$$m_{total} = m_{H_2O} \text{ evaporada} + m_{jugo \text{ concentrado}}$$

Del balance global o total es necesario conocer la cantidad de agua a ser retirada para poder calcular la energía demandada para tal proceso, por lo tanto, será la incógnita a conocer, el cálculo puede realizarse mediante un balance por componentes, ya sea agua o azúcares, se procederá con los azúcares.

Se obtiene primero la masa de jugo concentrado utilizando el balance por componentes, para luego despejar la incógnita de masa de agua a evaporar en la ecuación del balance global.

Balance de azúcar:

$$m_{total} X_{\text{azucar entrada}} = m_{jugo \text{ concentrado}} X_{\text{azucar salida}}$$

$$m_{jugo \text{ concentrado}} = \frac{m_{total} X_{\text{azucar entrada}}}{X_{\text{azucar salida}}}$$

$$m_{jugo \text{ concentrado}} = \frac{(1000kg)(0.03)}{(0.16)}$$

$$m_{jugo \text{ concentrado}} = \frac{(1000kg)(0.03)}{(0.16)}$$

$$m_{jugo \text{ concentrado}} = 187.5kg$$

Del balance global:

$$m_{total} = m_{H_2O} \text{ evaporada} + m_{jugo \text{ concentrado}}$$

$$m_{H_2O} \text{ evaporada} = m_{total} - m_{jugo \text{ concentrado}}$$

$$m_{H_2O} \text{ evaporada} = 1000kg - 187.5kg$$

$$m_{H_2O} \text{ evaporada} = 812.5kg$$

Balance de energía:

Del balance de materia anterior, se considera el jugo clarificado saliendo del proceso de clarificación aproximadamente a 100°C, por lo tanto solo basta calcular la evaporación mediante su calor latente de vaporización del agua a esta temperatura y presión de 101.325kPa $\Delta H_{vap} = 2257 \text{ kJ/kg}$ (Smith, 2007)

$$\text{Energía vaporización} = E$$

$$E = \Delta H_{vap} * m_{H_2O} \text{ evaporada}$$

$$E = \frac{2257kJ}{kg} * 812.5kg$$

$$E = 1,833,812.5kJ$$

$$E = 1.8GJ$$

Para dimensionar la cantidad de energía, puede compararse con la cantidad de gas licuado de petróleo (GLP) necesaria en kg para suministrar dicho calor. El poder calorífico (P.C.) del GLP es aproximadamente 46367.088kJ/kg (Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España, s.f.)

$$\text{Masa GLP} = \frac{\text{energía de vaporización}}{\text{poder calorífico GLP}}$$

$$\text{Masa GLP} = \frac{E}{P.C. GLP}$$

$$\text{Masa GLP} = \frac{1833812.5kJ}{46367.088kJ/kg}$$

$$\text{Masa GLP} = 39.54kg$$

4.2. ANÁLISIS DE RIESGOS PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO DE MANGO CLARIFICADO CONCENTRADO EN AZÚCARES

El análisis de los riesgos determinará cuáles son los factores de riesgo que potencialmente tendrían un mayor efecto sobre nuestro proyecto y, por lo tanto, deben ser gestionados por el empleador con especial atención.

Los métodos pueden ser:

- Métodos Cualitativos
- Métodos Cuantitativos
- Métodos Semi cuantitativos

La evaluación del riesgo es esencial para determinar la criticidad de la exposición a pérdidas y asignar prioridad para la acción. Las tres variables utilizadas con mayor frecuencia en la evaluación son:

- Gravedad - Si la exposición llegara a resultar en pérdida, ¿qué tan severa sería, probablemente, dicha pérdida?
- Frecuencia - ¿Con qué frecuencia están las personas, los equipos, los materiales o el ambiente expuestos al riesgo?
- Probabilidad - Considerando todos los factores pertinentes personas, equipos, materiales, ambiente, procesos - ¿Cuán probable es que ocurra la pérdida?

MATRIZ DE EVALUACION INTEGRADA									
CONSECUENCIA				PROBABILIDAD					
Rango	Seguridad y Salud Ocupacional	Daños a la propiedad	Ambiente	1	2	3	4	5	
				Rara vez	Ocasional	Poco Probable	Probable	Muy Probable	
1	Insignificante	P.A / Lesión / Efecto Leve	Hasta 1,000	Efecto Leve	1 Menor	2 Menor	3 Menor	4 Menor	5 Moderado
2	Menor	A.M / Lesión / Efecto Menor	1,001 a 5,000	Efecto Menor	2 Menor	4 Menor	6 Moderado	8 Moderado	10 Significativo
3	Moderado	ATR / Lesión / Efecto Mayor	5,001 a 25,000	Efecto Localizado	3 Menor	6 Moderado	9 Moderado	12 Significativo	15 Significativo
4	Mayor	ATP / Incapacidad Permanente	25,001 a 50,000	Efecto Mayor	4 Menor	8 Moderado	12 Significativo	16 Significativo	20 Alto
5	Crítico	Fatalidad	(+) 50,000	Efecto Masivo	5 Moderado	10 Significativo	15 Significativo	20 Alto	25 Alto

Figura 4.4 Matriz de Evaluación de Riesgos para el proceso de obtención de jugo de mango concentrado en azúcares
Fuente: (Figallo, 2017)

Selección de Metodologías

- Según el alcance – aplicación del estudio: línea base, accidentes, componentes críticos, fallas de sistemas, por lotes.
- Tipo de procesos a ser evaluado: continuo o por lotes.
- Según la fase del proyecto: planificación, desarrollo o finalización.

4.2.1. ANÁLISIS FODA

El análisis FODA, llamado así por sus siglas que representan el estudio de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, de una empresa, un mercado, o sencillamente a una persona, este acróstico es aplicado a cualquier situación, en el cual, se necesite un análisis o estudio. Buscando orientar con el estudio cuales son las fortalezas de la organización, sea en cuanto, a los recursos

que posee, la calidad del mismo, etc. Asimismo, externamente puede estudiar las amenazas que puedan existir como en el ámbito político o social.

Cabe señalar que, el *FODA* es una herramienta fundamental en la administración y en el proceso de planificación, de hecho, con este estudio se beneficiará de un plan de negocios, pudiendo dar fuerza a la sigla de oportunidad, logrando además, la situación real en la que se encuentra la empresa o proyecto, y poder planificar alguna estrategia a futuro. (Análisis FODA Copyright © 2018., 2018)

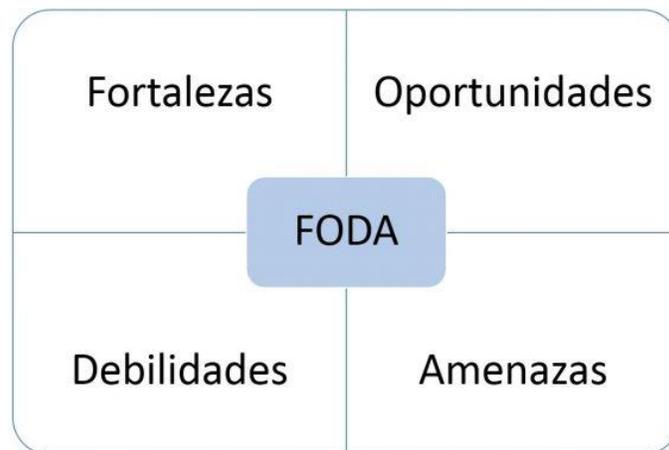


Figura 4.5 Matriz FODA

Fortalezas: los atributos o destrezas que una industria o empresa contiene para alcanzar los objetivos.

Debilidades: lo que es perjudicial o factores desfavorables para la ejecución del objetivo.

Oportunidades: las condiciones externas, lo que está a la vista por todos o la popularidad y competitividad que tenga la industria u organización útiles para alcanzar el objetivo

Amenazas: lo perjudicial, lo que amenaza la supervivencia de la industria o empresa y que se encuentran externamente, las cuales, pudieran convertirse en oportunidades, para alcanzar el objetivo.

4.2.2. METODOLGÍA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS FODA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO CONCENTRADO EN SACAROSA A PARTIR DE MANGO CRIOLLO

La parte más importante de este análisis es la evaluación de los puntos fuertes y débiles, las oportunidades y las amenazas, así como la obtención de conclusiones acerca del atractivo de la situación del objeto de estudio y la necesidad de emprender una acción en particular.

Tabla 4.9 Análisis FODA para la obtención de jugo clarificado concentrado en Azúcares a partir del mango criollo.

FACTORES INTERNOS		FACTORES EXTERNOS	
FORTALEZAS	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
F1 Contenido alto de azúcares en mango.	D1 Poco estudiado.	O1 Buen mercado para poder comercializar el jugo concentrado.	A1 No aceptación del producto por parte de los productores actuales de productos similares.
F2 Materia prima con alta disponibilidad.	D2 Industria azucarera en El Salvador, se encuentra protegida y estandarizada a una sola materia prima.	O2 Generar un impacto positivo hacia el medio ambiente, al generar menos desperdicio de mango por cosecha.	A2 No aceptación en el mercado.
F3 Tiempos de almacenamiento después de corte, considerablemente grandes (4 días máximo)	D3 Falta de equipo disponible actualmente.	O3 Alargar el tiempo de producción de azúcar en El Salvador (zafras más largas)	A3 Costo elevado de combustibles fósiles así como de la energía eléctrica
F4 Flexibilidad para su procesamiento.	D4 Desinterés de las personas hacia nuevas técnicas de obtención de azúcares.	O4 Disminución de costos de nuevas tecnologías	A4. Precios no competitivos.
		O5 Crecimiento de oferta en productos a base de jugo clarificado concentrado en azúcares.	

La tabla 4.9 muestra que existen fortalezas y oportunidades suficientes para poder mejorar el proceso; por otro lado, se detallan cuatro fortalezas y cuatro amenazas, las amenazas reales y potenciales, pueden evitarse mediante el aprovechamiento de las fortalezas. Las debilidades y amenazas planteadas deben considerarse como un reto a superar tomando en cuenta las oportunidades que se poseen.

CONCLUSIONES

- I. Experimentalmente el porcentaje promedio de azúcares totales obtenido fue de 6.48% en el jugo de mango clarificado y teóricamente se tenía un valor de 14.7% de azúcares en pulpa cruda. Se obtuvieron rendimientos de extracción de azúcares para las muestras analizadas por HPLC con un valor de rendimiento de extracción de entre 63% y 79%, además pudo constatarse que el rendimiento de extracción es directamente proporcional al nivel de dilución del extracto de pulpa utilizado en el proceso de extracción de azúcares, más sin embargo, esto debe considerarse que a mayor dilución, se necesitaría mucha más energía para evaporar el jugo clarificado y elevar su concentración de azúcares a los valores similares al del jugo de caña por lo tanto es preferible un valor intermedio de volumen final el cual se ha determinado estadísticamente como el óptimo en la muestra (11), 40 g de pulpa diluidos en 200 ml de jugo.
- II. Para producir 100 kg de azúcares contenidas en el jugo de mango clarificado obtenido, se necesitaría menos de una mz de cultivo de mango cosechado, dado que según datos teóricos se necesitaría 0.071 mz, y experimentalmente se obtuvo un valor de 0.16 mz (10,860 mangos) para producir 100 kg de azúcares contenidos en el jugo de mango clarificado, obtenido utilizando como materia prima el mango criollo (indio).
- III. La extracción de azúcares a partir del mango criollo (*mangifera indica*) por medio de la obtención de jugo clarificado concentrado en sacarosa con miras a producirse como un insumo para otros fines industriales es por lo tanto técnicamente factible desde el punto de vista que la principal azúcar obtenida del mango es precisamente sacarosa, de mayor valor comercial, representando entre un 54% y un 70% de los azúcares detectados en el análisis por cromatografía líquida de alta precisión.

IV. La concentración jugo de mango clarificado se realizó con dos muestras, las cuales poseían valores de 3.6°Bx iniciales, hasta llegar a concentraciones de 54°Bx y 58°Bx respectivamente. La concentración se realizó mediante un sistema a presión atmosférica de baño maría teniendo el cuidado de no exceder los 100°C. Tomando como referencia el diagrama de elevación del punto de ebullición para soluciones de sacarosa, se verificó que podía obtenerse una concentración hasta 70°Bx, lo cual no fue posible, por no ser una solución de sacarosa pura y por no contar con un equipo de laboratorio con controles mecanizados o automatizados para el control de los parámetros de operación que se requieren para generar presiones de vacío en la concentración del jugo.. El jugo de mango clarificado y concentrado obtenido mediante evaporación puede utilizarse como insumo en la industria alimenticia, siendo un sustituto potencial de edulcorantes.

RECOMENDACIONES

- I. Realizar pruebas posteriores de cristalización con el jugo de mango clarificado y concentrado en azúcares para evaluar la factibilidad de ser incluido como insumo de ingenios azucareros, y así poder alargar la época de producción de azúcar en El Salvador.
- II. Continuar la investigación de clarificación y concentración de jugo de mango de las demás variedades disponibles en El Salvador como el mango ciruela, tomy, mango coco, jade, panades, etc., para evaluar los posibles rendimientos de extracción principalmente de sacarosa de estos frutos, y tomarlos como una fuente potencial de desarrollo agroindustrial alternativa que puede ir de la mano con la industria azucarera de la caña existente
- III. Evaluar otras tecnologías de clarificación de jugo de mango como la degradación de pulpa con la enzima pectinasa, puesto que podrían obtenerse mayores rendimientos de extracción de azúcar de mango por medio de estas técnicas, aprovechando las diferencias y propiedades fisicoquímicas de la materia prima utilizada (pulpa de mango) que puede por su naturaleza clarificarse por otras técnicas distintas a las del jugo de caña, más económicas, limpias y eficientes.
- IV. Debido a que es necesaria la utilización de mucha energía para el proceso de evaporación para concentrar el jugo clarificado, y en el proceso azucarero convencional ésta es proporcionada por la quema del bagazo, es recomendable evaluar la posibilidad de aprovechamiento de fuentes de energía renovables disponibles en El Salvador, como otros tipos de biomasa y el vapor geotérmico agotado de las centrales geotérmicas o bien de fumarolas en campos geotérmicos; para su uso en los equipos de intercambio de calor en la etapa de evaporación del jugo.

- V. Al jugo clarificado obtenido de mango, considerándose como un subproducto del proceso podría evaluársele el grado de clarificación esencial o mínimo o su mezclado con melaza proveniente de azúcar de caña, para utilizarse como insumo para la industria licorera puesto que el jugo tiene un alto contenido de azúcares fermentables.

ACRÓNIMOS

AOAC: “Association of Official Agricultural Chemists” (Asociación de químicos de agricultura oficial).

FIA: Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería, República de El Salvador.

MINEC: Ministerio De Economía de El Salvador

UES: Universidad de El Salvador.

USDA: United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)

DEFINICIONES

Azúcares reductores: aquellos azúcares como la (D)-Glucosa y (L)-Fructosa que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) libre, y que a través del mismo poseen la capacidad de reducir al reactivo de Tollens $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ a plata sólida y otros compuestos.

Brix: unidad de medida de concentración (símbolo °Bx) usada para cuantificar el cociente total de sólidos solubles (por ejemplo azúcares) disueltos en una muestra líquida. Una solución de 25 °Bx contiene 25 g de sólidos disueltos por 100g de disolución total. Los grados Brix se cuantifican con un equipo óptico llamado Refractómetro.

Central Azucarera: (También Ingenio Azucarero), comprende las instalaciones, maquinaria, equipo y laboratorios para el procesamiento industrial de la caña de azúcar, así como también espacios habitacionales e inmuebles propios para la logística de sus procesos.

Coagulante: sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, insoluble en agua.

Fibra natural: Filamento de la constitución de tejidos orgánicos y que presenta en su composición aminoácidos, polisacáridos y proteínas.

Filtrado: Solución líquida que ha sido sometida a separación de materiales insolubles a través de un filtro.

Floculante: sustancia química comúnmente que aglutina sólidos en suspensión para formar coágulos provocando su precipitación.

Guarapo: Jugo de caña de azúcar obtenido en los procesos de molienda del Ingenio Azucarero.

Jugo clarificado: Guarapo libre de sólidos suspendidos que se obtiene después del proceso de clarificación y que se alimenta a los evaporadores para la cristalización del azúcar.

Meladura: solución espesa y con alta concentración de azúcares resultante de la evaporación del jugo de caña.

Reactivo de Tollens: complejo acuoso de diamina-plata, presentado usualmente bajo la forma de nitrato. $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$

Sólidos Disueltos: cantidad de materias solubles y disueltas en agua que aumentan su densidad y recuperables en forma sólida por evaporación del agua tales como la sacarosa.

Sulfatación: Introducción de Dióxido de Azufre en el jugo de caña o guarapo con el fin de lograr su clarificación.

Templa: Porción de jarabe de caña (meladura) que se encuentra en la pila o tacho para encontrar su temple al calor hasta ser azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

- Análisis FODA Copyright © 2018. (2018). Obtenido de FODA: Matriz o Análisis FODA – Una herramienta esencial para el estudio de la empresa.: http://www.analisisfoda.com/#Que_es_el_analisis_FODA
- Anton, R. (2017). *PERIÓDICO DIGITAL QCOM.ES*. Obtenido de Acor y Azucarera, luchan ahora sin cuotas, España.
- Arias, M. C. (2015). *Centro de Diagnóstico Molecular*. Obtenido de GUIA PRACTICA DE MANEJO DEL EQUIPO Y SOFTWARE HPLC: https://www.researchgate.net/profile/Michelle_Chirinos-Arias2/publication/283090329_Guia_practica_de_manejo_y_uso_del_equipo_y_software_de_HPLC/links/562a74b908ae04c2aeb1a7db/Guia-practica-de-manejo-y-uso-del-equipo-y-software-de-HPLC.pdf, Perú.
- Astudillo, Y. M. (2016). Propiedades Físicas, Químicas y Antioxidantes de variedades de mango crecidas en la costa de Guerrero. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 39(3). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000300207. México.
- Bruice, P. Y. (2007). *Fundamentos de QUÍMICA Orgánica*. Editorial : PEARSON Education, México.
- CENTA, Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal, (2002). *Guía Técnica: Cultivo de Mango*. Obtenido de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20Mango.pdf>. El Salvador.
- CONSA Consejo Salvadoreño de la Agroindustria Azucarera . (2017). Obtenido de <http://www.consaa.gob.sv/>, El Salvador.
- Correa, C. A. (s.f.). RIQUEZA QUÍMICA DEL MANGO. *REVISTA UNIVERSIDAD EAFIT* 83, 80, Colombia.
- CUBA AHORA. (28 de Marzo de 2014). Obtenido de <http://www.cubahora.cu/blogs/consultas-medicas/estevia-y-azucar>, Cuba.
- esevía. (2015) Producto comercial esevía, Azúcar Light. Obtenido de <http://www.esevia.com/>
- Figallo, A. V. (25 de Enero de 2017). *CLAVES PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS*, Universidad de San Martín de Porres. Obtenido de: <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/gr2.pdf>, Perú
- Gordon J. Van Wylen, R. E. (1980). *Fundamentos de Termodinámica*. Editorial LIMUSA WILEY, México.

- Guerrero Hernández A, M. C. (Febrero de 2018). *INFLUENCIA DE LA BACTERIA Leuconostoc Mesenteroides y L. Dextranicum EN LA PRODUCCION DE LA AZUCAR DE CAÑA, Grupo IDAII (Investigación y Desarrollo Analítico e Ingeniería Integral*. Obtenido de <http://grupoidaii.com/assets/623.pdf>
Veracruz, México.
- Ingenio El Ángel. (Abril de 2018). Laboratorio de Análisis de Calidad. Apopa, San Salvador, El Salvador.
- Joslyn, M. A. (1970). *METHODS IN FOOD ANALYSIS 2nd Edition*. Berkeley, California, Editorial: Board, Estados Unidos.
- Méndez, B. Laboratorista de Ingenio El Ángel (Mayo de 2018). Consulta personal sobre Dextranas en Jugo Clarificado. San Salvador, El Salvador
- Mejía, Avendaño Vasquez, y Zolano Abarca, J. C. (2014). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA AGROINDUSTRIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA PLANTA DE STEVIA PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL MUNICIPIO DE TEJUTEPEQUE, CABAÑAS*. San Salvador, El Salvador.
- MINEC. (2017). *Ministerio de Economía Gobierno de El Salvador* . Obtenido de <http://www.minec.gob.sv/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2013). *COSTOS DE PRODUCCIÓN 2012-2013*. Santa Tecla, El Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2008). *Mapas temáticos sobre frutales, granos básicos, hortalizas, pecuarios y suelos*. Obtenido de FRUTALES: <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/mapas-tematicos-sobre-frutales-granos-basicos-hortalizas-pecuarios-y-suelos/> , *El Salvador*.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2016). *Anuario de Estadísticas Agropecuarias*. División de Estadísticas Agropecuarias Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>, *El Salvador*.
- Quintero, V. C. (2013). Caracterización Físicoquímica del Mango Común (Mangifera Indica L) Durante su proceso de maduración. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 11(1), 10-18. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a02.pdf> , *Colombia*.
- Rayner-CanHam, G. (2000). *Química Inorgánica Descriptiva* Editorial Pearson Education, *Colombia*.

- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. Editorial : Bartens. Berlin, Alemania.
- OSPINA HENAO, S.M. E. N. (2012). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL MANGO (Mangifera Indica L) Usando Saccharomyces cerevisiae*. Manizales, Colombia.
- Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España. (s.f.). *Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital*. Obtenido de <http://www.minetad.gob.es/energia/glp/Paginas/Index.aspx>
- Silva, E. C. (2016). *BIOMOLÉCULAS*. Obtenido de slide.player: <http://slideplayer.es/slide/9519824/>. España.
- Smith, V. N. (2007). *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. Editorial Mc Graw Hill. México.
- statista. (2018). Obtenido de Consumo mundial de azúcar 2009/2010-2015/2016: <https://es.statista.com/estadisticas/598725/consumo-mundial-de-azucar-2009-2010/>
- UNC. (2011). *Medición de Viscosidad en Líquidos, Universidad Nacional de Córdoba*. Obtenido de Facultad de Matemática, Astronomía y Física: http://www2.famaf.unc.edu.ar/materias/anteriores/0167/2011/Practico_2_2011.pdf, Argentina.
- United States Department of Agriculture. (Mayo de 2016). *National Nutrient Database*. Obtenido de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2271>, Estados Unidos.
- USDA. (Mayo de 2016). *National Nutrient Database for Standard Reference Release 28*, Obtenido de Basic Report: 09176, Mangos, raw: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2271>, Estados Unidos.
- Wade, L. G. (2004). *QUÍMICA ORGÁNICA 5ta Ed*: Pearson Education S.A. Madrid, España
- Wall-Medrano, F. (23 de Julio de 2014). *El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud*. Obtenido de aulamedica.es: <http://www.aulamedica.es/nh/pdf/7701.pdf>. España.
- Yaniris, L. A. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Sobre los derivados de la caña de azúcar, XL(2)*, pp 10 - 17. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>, Cuba.

ANEXOS

ANEXO A Hoja técnica de Poliacrilamida utilizada para clarificación de jugo de mango.



LIPESA 1538

POLÍMERO ANIÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 12,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1538 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales. **LIPESA 1538** tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y muchos otros procesos como el papelerero y azucarero. **LIPESA 1538** cumple con los requisitos de la FDA para uso en producción de azúcar bajo la Regulación Federal 21CFR.173.5.

Descripción General

LIPESA 1538 es un polímero sólido de "muy alto peso molecular", fuertemente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Granular de flujo libre
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Viscosidad Brookfield (cP):	Mínimo 2000 al 0,5% Mínimo 1000 al 0,25% Mínimo 300 al 0,1%
Solubilidad:	Máxima en agua 0,5%

Dosis

La dosis de **LIPESA 1538** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10 – 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0,05 – 30 g/m³

En todo caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1538 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

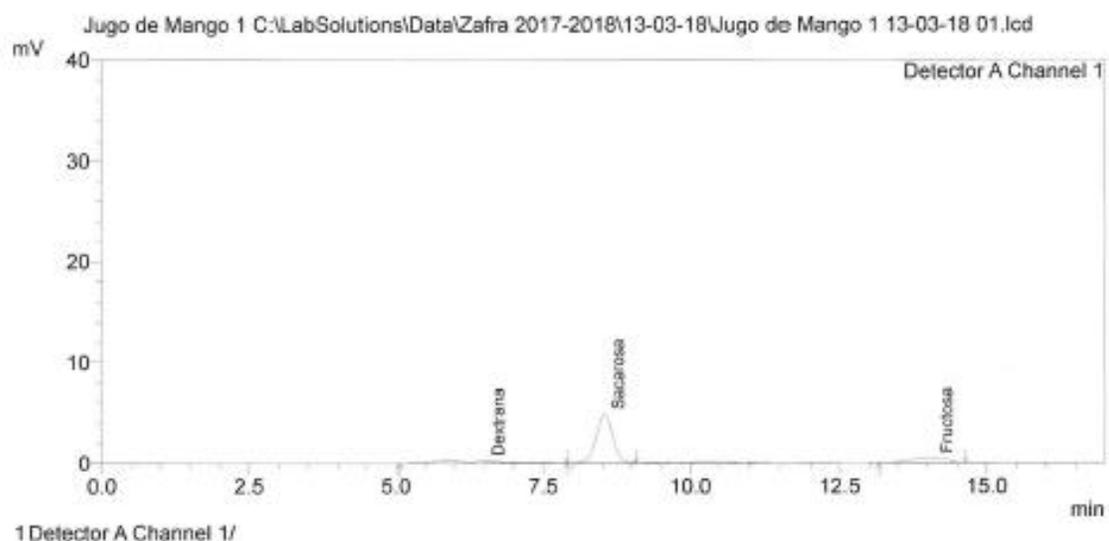
El tiempo de preparación de las soluciones de **LIPESA 1538** es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento
- Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos
- Dejar en reposo durante 5 – 10 minutos
- Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos

==== Ingenio El Angel ====
ZAFRA 2017-2018

Sample Name : Jugo de Mango 1
 Sample ID : Iny.01
 Data File Name : Jugo de Mango 1 13-03-18 01.lcd
 Method File Name : met_biorad.lcm
 Batch File Name : SECUENCIA. 13-03-18.lcb
 Report File Name : Reporte Ingenio El Angel.lsr
 TimeModified DateModified TimeModified DateModified Time

<Chromatogram>



<Results>

Detector A Channel 1

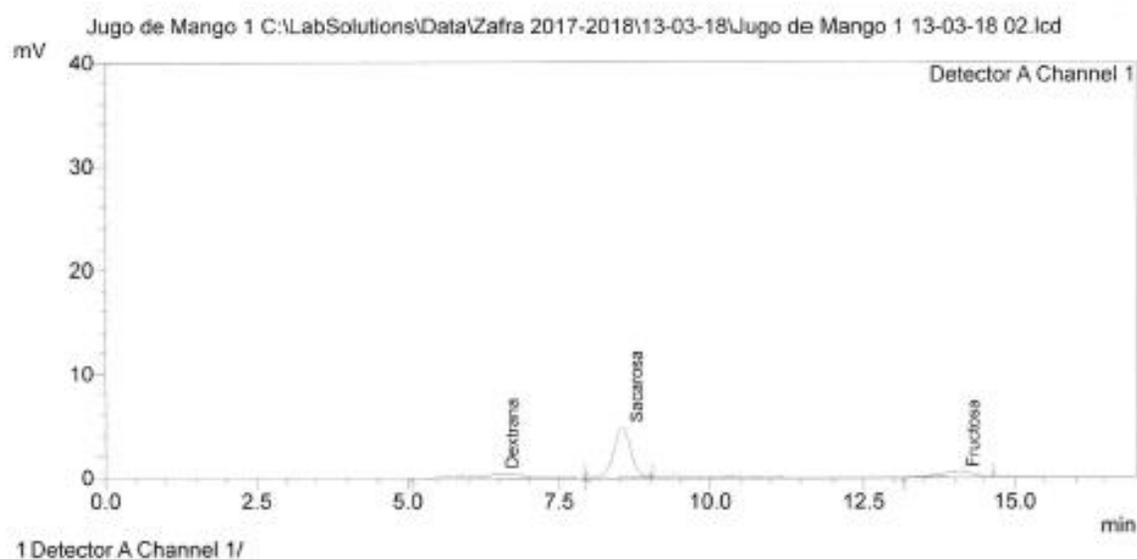
Peak #	Nombre	T. Retencion	Area	Conc g/100 ml	Conc %
1	Dextrana	6.500	16973	0.339	12.831
2	Sacarosa	8.536	93909	1.739	70.988
3	Fructosa	14.079	21406	0.411	16.182
Total			132289		100.000

Figura B.2 Resultado de primera muestra de jugo clarificado de mango criollo analizada por HPLC, primera iteración.

==== Ingenio El Angel ====
ZAFRA 2017-2018

Sample Name : Jugo de Mango 1
 Sample ID : lny.02
 Data File Name : Jugo de Mango 1 13-03-18 02.lcd
 Method File Name : met_biorad.lcm
 Batch File Name : SECUENCIA. 13-03-18.lcb
 Report File Name : Reporte Ingenio El Angel.lsr
 TimeModified DateModified TimeModified DateModified Time

<Chromatogram>



<Results>

Detector A Channel 1

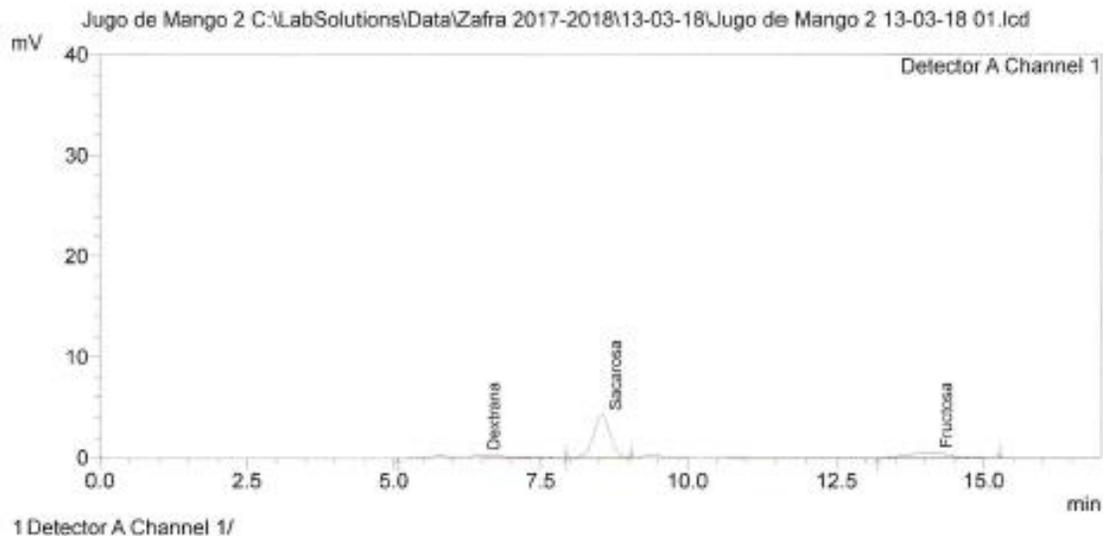
Peak #	Nombre	T. Retencion	Area	Conc g/100 ml	Conc %
1	Dextrana	6.486	24397	0.488	17.334
2	Sacarosa	8.541	93474	1.731	66.411
3	Fructosa	14.075	22879	0.439	16.255
Total			140750		100.000

Figura B.3 Resultado de primera muestra de jugo clarificado de mango criollo analizada por HPLC, segunda iteración.

==== Ingenio El Angel ====
ZAFRA 2017-2018

Sample Name : Jugo de Mango 2
 Sample ID : Iny.01
 Data File Name : Jugo de Mango 2 13-03-18 01.lcd
 Method File Name : met_biorad.lcm
 Batch File Name : SECUENCIA_13-03-18.lcb
 Report File Name : Reporte Ingenio El Angel.lsr
 TimeModified DateModified TimeModified DateModified Time

<Chromatogram>



<Results>

Detector A Channel 1

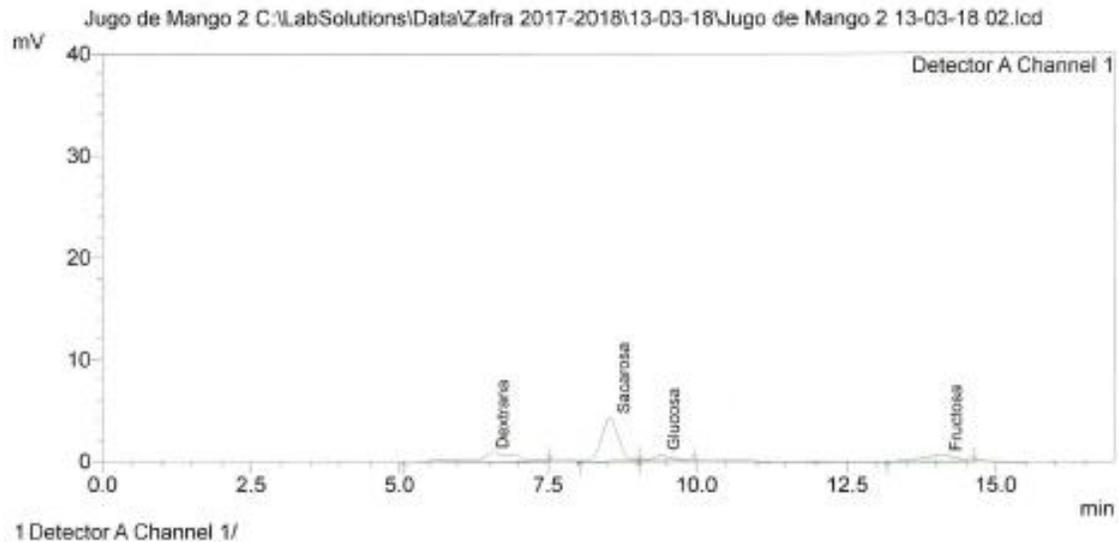
Peak #	Nombre	T. Retencion	Area	Conc g/100 ml	Conc %
1	Dextrana	6.467	20141	0.401	15.979
2	Sacarosa	8.539	82696	1.526	65.607
3	Fructosa	14.127	23211	0.444	18.415
Total			126048		100.000

Figura B.4 Resultado de segunda muestra de jugo clarificado de mango criollo analizada por HPLC, primera iteración.

==== Ingenio El Angel ====
ZAFRA 2017-2018

Sample Name : Jugo de Mango 2
 Sample ID : Iny.02
 Data File Name : Jugo de Mango 2 13-03-18 02.lcd
 Method File Name : met_biorad.lcm
 Batch File Name : SECUENCIA. 13-03-18.lcb
 Report File Name : Reporte Ingenio El Angel.lsr
 TimeModified DateModified TimeModified DateModified Time

<Chromatogram>



<Results>

Detector A Channel 1

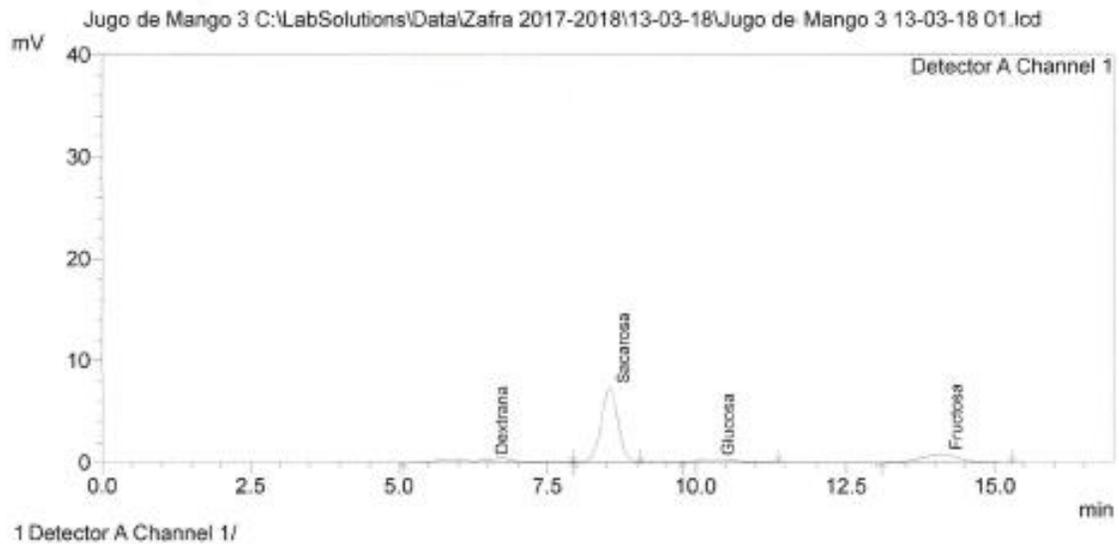
Peak #	Nombre	T. Retencion	Area	Conc. g/100 ml	Conc %
1	Dextrana	6.500	35174	0.701	23.537
2	Sacarosa	8.539	81002	1.495	54.202
3	Glucosa	9.381	12311	0.240	8.238
4	Fructosa	14.093	20957	0.401	14.023
Total			149444		100.000

Figura B.5 Resultado de segunda muestra de jugo clarificado de mango criollo analizada por HPLC, segunda iteración.

==== Ingenio El Angel ====
ZAFRA 2017-2018

Sample Name : Jugo de Mango 3
 Sample ID : Iny.01
 Data File Name : Jugo de Mango 3 13-03-18 01.lcd
 Method File Name : met_biorad.lcm
 Batch File Name : SECUENCIA, 13-03-18.lcb
 Report File Name : Reporte Ingenio El Angel.lsr
 TimeModified DateModified TimeModified DateModified Time

<Chromatogram>



<Results>

Detector A Channel 1

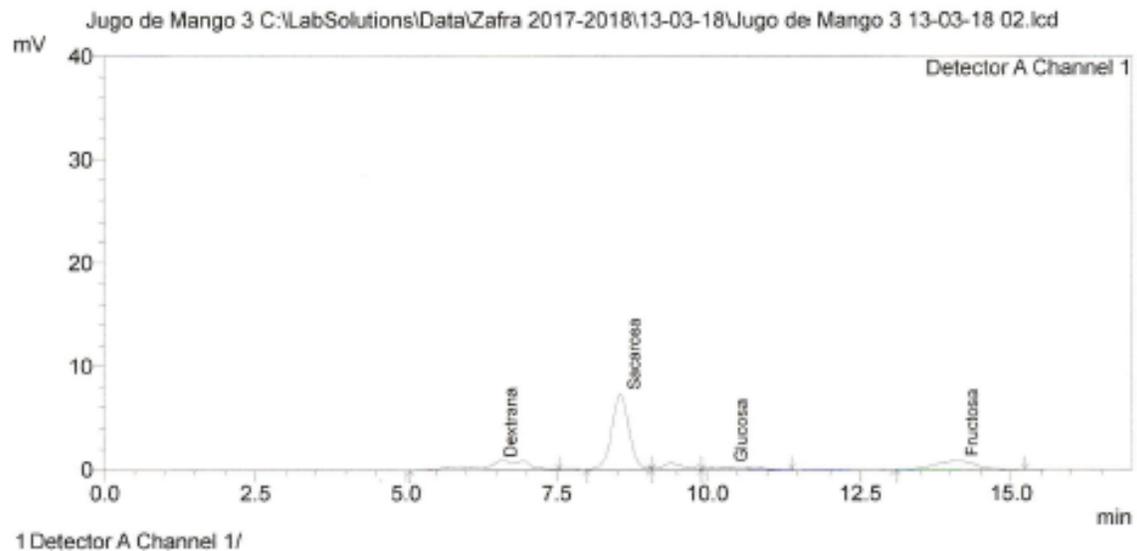
Peak #	Nombre	T. Retencion	Area	Conc g/100 ml	Conc %
1	Dextrana	6.500	32039	0.638	14.172
2	Sacarosa	8.546	144234	2.659	63.801
3	Glucosa	10.314	13301	0.259	5.884
4	Fructosa	14.121	36496	0.697	16.144
Total			226070		100.000

Figura B.6 Resultado de tercera muestra de jugo clarificado de mango criollo analizada por HPLC, primera iteración.

==== Ingenio El Angel ====
ZAFRA 2017-2018

Sample Name : Jugo de Mango 3
 Sample ID : Iny.02
 Data File Name : Jugo de Mango 3 13-03-18 02.lcd
 Method File Name : met_biorad.lcm
 Batch File Name : SECUENCIA. 13-03-18.lcb
 Report File Name : Reporte Ingenio El Angel.lsr
 TimeModified DateModified TimeModified DateModified Time

<Chromatogram>



<Results>

Detector A Channel 1

Peak #	Nombre	T. Retencion	Area	Conc g/100 ml	Conc %
1	Dextrana	6.500	47927	0.954	18.727
2	Sacarosa	8.550	144141	2.658	56.322
3		9.394	15113	0.000	5.905
4	Glucosa	10.327	12871	0.250	5.029
5	Fructosa	14.112	35873	0.686	14.017
Total			255925		100.000

Figura B.7 Resultado de tercera muestra de jugo clarificado de mango criollo analizada por HPLC, segunda iteración.

ANEXO C Equipo de laboratorio utilizado en las marchas experimentales para la obtención de jugo clarificado.



Figura C.1. Refractómetro tipo ABEE, MARCA BAUSCH AND LAMB, modelo ABEE L3 utilizado en Laboratorio de Ingeniería Química FIA-UES.



Figura C.2. Polarímetro marca DR. STEEG AND REUTERS, modelo SR-6 utilizado en Laboratorio de Química y Farmacia – UES.

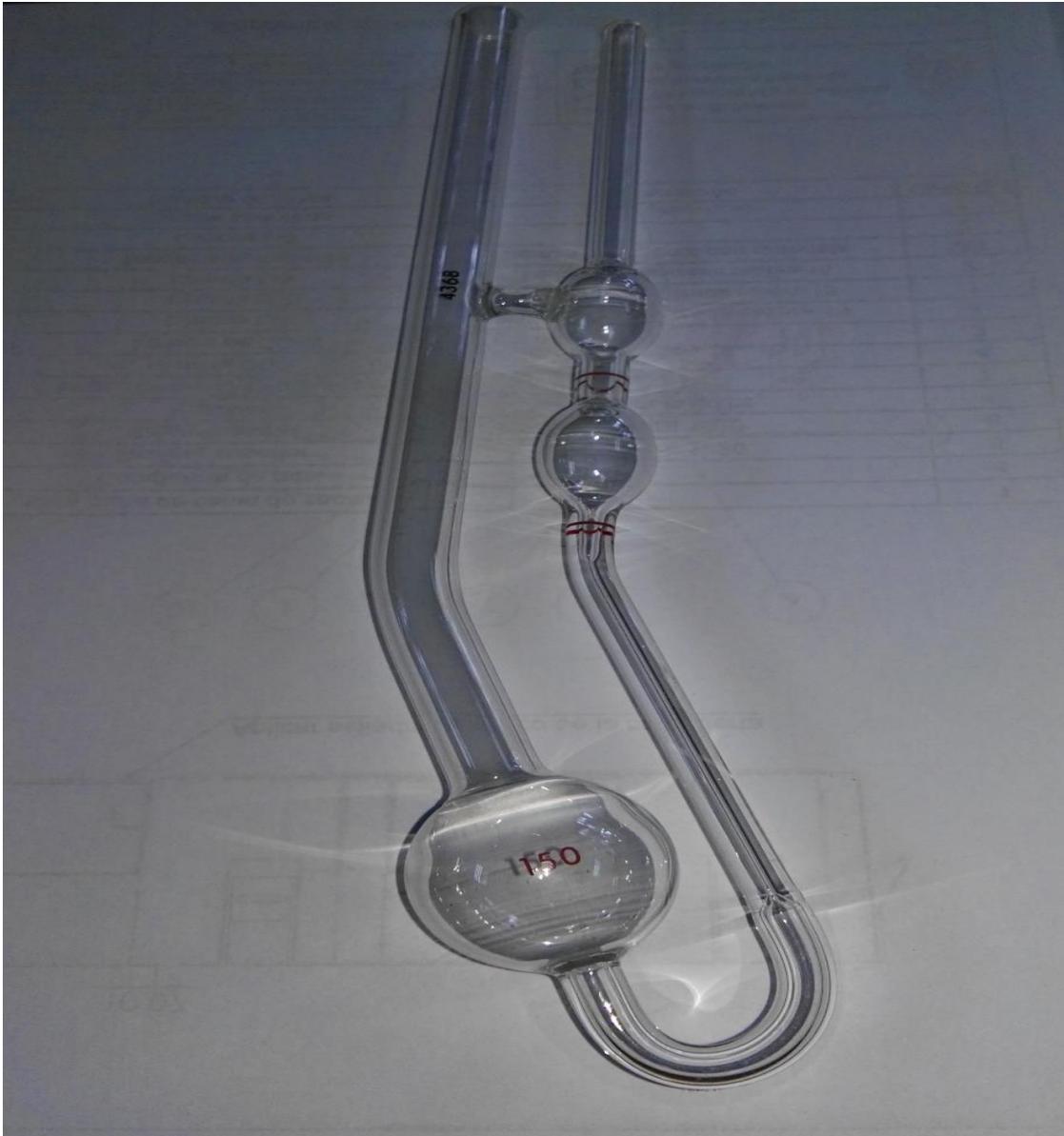


Figura C.3. Viscosímetro marca CANNON FENSKE modelo 4368 utilizado en Laboratorio de Ingeniería Química FIA-UES.



Figura C.4. pHMETER MARCA THERMO SCIENTIFIC ORION 2-STAR modelo BENCHT utilizado en Laboratorio de Ingeniería Química FIA-UES.