

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL CAUCHO SECO Y
TIEMPO DE COAGULACIÓN DEL LÁTEX AL IMPLEMENTAR VINAZAS COMO
COAGULANTE**

NATALIA ANDREA PERALTA CRUZ

**Proyecto integral de grado para obtener el título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

JOSÉ DAVID LEÓN LOZANO

Ingeniero Químico

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., febrero de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García – Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectora académica y de investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Eliseo Peralta y Elizabeth Cruz, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A mis hermanos Karen Peralta y Brayan Peralta por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos al director del proyecto, el ingeniero José David León, por transmitirme sus conocimientos y enseñanzas; además de su constante apoyo en la parte experimental e investigativa.

Para el ingeniero Orlando Castiblanco, codirector del proyecto, por su dedicación y colaboración para el desarrollo del trabajo.

A la empresa MAVALLE S.A.S por permitir la elaboración de este proyecto en sus instalaciones y el brindar los materiales necesarios para su debido desarrollo.

A los trabajadores que colaboraron en los ensayos realizados, para el debido desarrollo del proyecto.

A todos los profesores que con mucha paciencia y dedicación brindaron sus conocimientos para mi debida formación profesional.

A la universidad de América por acogerme durante toda mi carrera y permitir mi debida formación en ingeniera química.

La Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente, no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
INTRODUCCION	17
OBJETIVOS	18
1. GENERALIDADES	19
1.1 Ubicación de la compañía	19
1.2 Misión	19
1.3 Visión	20
1.4 Descripción del proceso de transformación de caucho natural crepe	20
<i>1.4.1 Materia prima</i>	20
<i>1.4.2 Recolección</i>	20
<i>1.4.3 Crepado</i>	20
<i>1.4.4 Secado</i>	21
<i>1.4.5 Análisis de laboratorio</i>	21
2. MARCO TEORICO	23
2.1 Árbol de caucho	23
<i>2.1.1 Taxonomía del árbol de caucho</i>	23
2.2 Condiciones del medio	24
<i>2.2.1 Factor humano</i>	24
<i>2.2.2 Factores ambientales</i>	25
2.3 Látex natural	25
<i>2.3.1 Características generales del látex</i>	26
2.4 Estructura química del látex	27
2.5 Composición del látex	28
<i>2.5.1 Proteínas</i>	28
<i>2.5.2 Lípidos</i>	28
<i>2.5.3 Carbohidratos e inositoles</i>	29
<i>2.5.4 Compuestos nitrogenados</i>	29
<i>2.5.5 Propiedades coloidales</i>	29
2.6 Hidrocarburos de caucho	30

2.6.1 Grupos funcionales en hidrocarburos	30
2.6.2 Tipos de grupos funcionales en hidrocarburos de caucho	30
2.7 Coagulación del látex	30
2.7.1 Tipos de coagulación	30
2.7.2 Acidificación	31
2.8 Coagulo o chipa de caucho	31
2.9 Composición del caucho natural	32
2.9.1 Hidrocarburo caucho	32
2.9.2 Contenido de nitrógeno	32
2.9.3 Cenizas	33
2.9.4 Porcentaje de impurezas	33
2.9.5 Humedad	33
2.9.6 Extracto acetónico	33
2.9.7 Metales tóxicos	33
2.10 Propiedades físicas del caucho	34
2.10.1 Plasticidad (P0)	34
2.10.2 Índice de retención de plasticidad PRI	34
2.10.3 Viscosidad Mooney	34
2.11 Equipos	34
2.12 Polímeros	38
2.12.1 Distribución peso molecular	38
2.12.2 Tipos de polímeros	39
2.12.3 Poliisopreno	39
2.13 Comportamiento químico del látex al coagular con ácido fórmico	41
2.13.1 Propiedades	42
2.13.2 Medio de coagulación del látex	43
2.14 Vinazas	44
2.14.1 Composición de las vinazas	45
2.14.2 Caracterización fisicoquímica	45
3. SELECCIÓN DE VINAZAS	46
4. CARACTERIZACION DE LAS VINAZAS	47

4.1 Elaboración de ensayos de laboratorio para caracterización de vinazas	47
4.1.1 pH	47
4.1.2 Cenizas	48
4.1.3 Contenido de nitrógeno	48
5. COAGULACION DEL LATEX	50
5.1 Comportamiento del látex natural al adicionar vinazas como coagulante	50
5.2 condiciones de operación para aplicación de vinazas en campo	51
5.3 Tratamiento para el uso de vinazas en la coagulación del látex	53
5.4 Muestreo en campo con vinazas	53
5.4.1 Aplicación de vinazas en campo	54
5.4.2 Recolección del caucho	55
6. PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL CAUCHO	57
6.1 Contenido de caucho seco (DRC)	57
6.2 Secado	58
6.3 Viscosidad	59
6.4 Plasticidad	60
6.5 Índice de retención de plasticidad (PRI)	60
6.6 Cenizas	61
6.7 Suciedad	63
6.7.1 Disolución	63
6.7.2 Filtración	63
6.7.3 Secado	64
6.8 Volátiles	64
6.9 Contenido de nitrógeno	65
6.9.1 Digestión	65
6.9.2 Destilación	66
6.9.3 Titulación	67
7. DISEÑO EXPERIMENTAL	69
7.1 Análisis de varianza	70
7.1.1 Viscosidad	70

7.1.2 <i>Plasticidad</i>	70
7.1.3 <i>Índice de retención de plasticidad (PRI)</i>	70
8. ANALISIS DE RESULTADOS	71
8.1 Contenido de caucho seco (DRC)	71
8.2 Viscosidad Mooney	72
8.3 Plasticidad	75
8.4 Índice de retención de plasticidad	79
8.5 Suciedad, volátiles y cenizas	82
8.6 Contenido de nitrógeno	83
9. CONDICIONES E IMPACTOS EN LA APLICACION DE VINAZAS COMO COAGULANTE DEL LATEX	85
9.1 Condiciones de aplicación	85
9.2 Impactos de la aplicación de vinazas	85
10. CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFIA	89
GLOSARIO	92
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Planta de proceso de Mavalle	19
Figura 2. Diagrama del proceso de transformación del látex natural a caucho crepe	22
Figura 3. Árbol de caucho	23
Figura 4. Molécula del caucho natural	28
Figura 5. Monómero y polímero de isopreno	40
Figura 6. Molécula de ácido fórmico	42
Figura 7. Medición de pH para las vinazas	47
Figura 8. Disposición para evaluación de contenido de nitrógeno	48
Figura 9. Marcación en campo de los árboles para ensayo a diferentes concentraciones de vinazas	54
Figura 10. Adición de vinazas en campo	55
Figura 11. Caucho seco recolectado	56
Figura 12. Muestras de caucho crepado	58
Figura 13. Secado de muestras	58
Figura 14. Medición de la Viscosidad Mooney	59
Figura 15. Muestras para plasticidad	60
Figura 16. Ingreso de muestras a cámara de envejecimiento	61
Figura 17. Muestras en mufla	62
Figura 18. Muestra de suciedad	63
Figura 19. Disolución de caucho en ácido fórmico para contenido de nitrógeno	66
Figura 20. Neutralización de solución resultante de la digestión	67
Figura 21. Titulación del destilado	68
Figura 22. Diagrama de Pareto para Viscosidad Mooney	72
Figura 23. Gráfica de efectos principales para Viscosidad Mooney	73
Figura 24. Gráfica de interacción para Viscosidad Mooney	74
Figura 25. Diagrama de Pareto para plasticidad	76
Figura 26. Gráfica de efectos principales para plasticidad	76

Figura 27. Gráfica de interacción para plasticidad	77
Figura 28. Diagrama de Pareto para PRI	79
Figura 29. Gráfica de efectos principales para PRI	80
Figura 30. Gráfica de interacción para PRI	81

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica de la especie <i>Hevea brasilienses</i>	24
Tabla 2. Composición del Látex	27
Tabla 3. Composición del caucho natural	32
Tabla 4. Equipos para la transformación de caucho seco y medición de sus propiedades fisicoquímicas.	35
Tabla 5. Propiedades del poliisopreno	40
Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas del ácido fórmico	43
Tabla 7. Características de las vinazas de caña de azúcar	45
Tabla 8. Propiedades fisicoquímicas de las vinazas usadas en el laboratorio.	49
Tabla 9. Comportamiento del látex al adicionar vinazas como agente coagulante	50
Tabla 10. Comportamiento del látex al adicionar vinazas como agente coagulante	52
Tabla 11. Programación de muestreo en campo	55
Tabla 12. Contenido de DRC en muestras de laboratorio	71
Tabla 13. Comparación de concentración y temperatura para Viscosidad Mooney	75
Tabla 14. Comparación de concentración y temperatura para plasticidad	78
Tabla 15. Comparación de concentración y temperatura para PRI	82
Tabla 16. Resultados para las pruebas de cenizas, volátiles y suciedad	82
Tabla 17. Resultados del contenido de nitrógeno	84

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Tabla de resultados del procedimiento de viscosidad	94
Anexo 2. Tabla de resultados del procedimiento de plasticidad	95
Anexo 3. Tabla de resultados del procedimiento de PRI	96
Anexo 4. Resumen de los valores obtenidos en viscosidad, plasticidad y PRI del caucho seco coagulado con vinazas	97
Anexo 5. Resultados de los procedimientos de suciedad, cenizas y volátiles	98
Anexo 6. Tabla de análisis de varianza para los resultados de viscosidad	99
Anexo 7. Tabla de análisis de varianza para los resultados de plasticidad	100
Anexo 8. Tabla de análisis de varianza para los resultados de PRI	101
Anexo 9. Especificaciones del caucho según la norma ISO 2000	102
Anexo 10. Recomendaciones	103

LISTA DE ABREVIATURAS

°C: Grados Celsius

AF: Acido fórmico

ANOVA: Análisis de varianza

C: Concentración

CST: Contenido de solidos totales

D4: 4 Días

DOE: Diseño experimental

DRC: Contenido de caucho seco

g: Gramos

Ha: Hectáreas

Hi: Hipótesis alternativa

Ho: Hipótesis nula

mL: Mililitros

MU: Unidades Mooney

P0: Plasticidad

P30: Plasticidad después de 30 min en horno a 140°C

PRI: Índice de retención de plasticidad

T: Temperatura

VFA: Cantidad de ácidos grasos volátiles

RESUMEN

El presente trabajo investigativo evaluó las propiedades fisicoquímicas del caucho seco y el tiempo de coagulación del látex natural de la empresa Mavalle S.A.S. al ser coagulado con vinazas, estas son producto de la destilación de etanol a partir de la caña de azúcar.

El proceso inició en el laboratorio, en donde se realizaron diferentes ensayos para establecer 3 concentraciones de vinazas para coagular el látex, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del caucho seco tras 2 días de maduración en campo a dos temperaturas de secado, resultando una disminución de la Viscosidad Mooney y la plasticidad al secar la muestra a elevadas temperaturas, un comportamiento opuesto a la variación de las concentraciones, ya que al aumentar la concentración de vinazas, la plasticidad y PRI aumentan; para la verificación de los resultados se utilizó Excel y Minitab, en los cuales se planteó el diseño experimental.

De los resultados obtenidos se pudo concluir que las vinazas pueden ser una sustancia adecuada para la coagulación del látex, debido a que no genera alteraciones en el material. Los resultados se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma ISO 2000:2014 y las afectaciones a la salud son menores comparados con el ácido fórmico.

Palabras clave: Vinazas, Coagulación, Caucho seco, Ácido fórmico, Viscosidad Mooney, Plasticidad, Índice de retención de plasticidad.

INTRODUCCIÓN

Mavalle es una empresa agroindustrial que se encarga de cultivar, procesar y comercializar caucho natural, se encuentra ubicada en el departamento del Meta entre puerto López y puerto Gaitán, cuenta actualmente con 10000 Ha de caucho natural de las cuales 5000 aproximadamente están actualmente en proceso de sangría. Este proceso consiste en realizar una incisión diagonal a la corteza del árbol, por medio de la cual se obtiene un fluido lechoso denominado Látex, este líquido debe ser sometido a un proceso de coagulación con ácido fórmico.

Existen diferentes sustitutos al ácido fórmico como el ácido cítrico y ácido acético. Cada uno de estos han presentado diferentes resultados relacionados a las propiedades fisicoquímicas del caucho natural ya sea que aumenten o disminuyan los valores de sus propiedades o el tiempo de coagulación. Para el caso de Mavalle se desea la búsqueda de nuevas sustancias de coagulación que puedan disminuir los valores de las propiedades físicas, en especial la Viscosidad Mooney del caucho desde la Tomado de sin que genere afectaciones en el proceso.

Para ello se desea estudiar el comportamiento del caucho natural al utilizar como coagulante un residuo industrial generado por la destilación de etanol denominado Vinaza.

A continuación, se presenta el desarrollo del proyecto de grado en 9 capítulos, los cuales abarcan desde la teoría del proceso de obtención del látex, en donde se explica químicamente cual es comportamiento de la sustancia, hasta la ejecución de los laboratorios para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del caucho resultante de la coagulación con vinazas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas del caucho seco y el tiempo de coagulación del látex al utilizar vinazas como agente coagulante para el látex.

Objetivos específicos

- Explicar el comportamiento químico del látex utilizando ácido fórmico como agente coagulante.
- Establecer el tratamiento necesario para que las vinazas puedan usarse como coagulante del látex.
- Determinar las condiciones e impactos implicados en la aplicación de vinazas como coagulante del látex.

1. GENERALIDADES

Con el fin de dar a conocer la empresa en la cual se desarrollará el proyecto en cuestión, se presentarán las generalidades referentes a la ubicación, misión y visión de la compañía.

1.1 Ubicación de la compañía

En la Figura 1. Se observa la empresa MAVALLE S.A.S, la cual se encuentra a una latitud de 4°11 '34"N y una longitud de 72°34' 10"W. En el km 47,5 vía Puerto López – Puerto Gaitán, (Meta). [27]

Figura 1.

Planta de proceso de Mavalle.



Nota. La figura representa la planta de proceso de Mavalle. Tomado de: Plantación Mavalle, 2021. [online]. Available <[Via Plantación Mavalle - Remolinos - Google Maps](#)> [Acceso: sep. 2021]

1.2 Misión

MAVALLE S.A.S es una empresa agroindustrial que cultiva, procesa y comercializa caucho natural orientado a mercados nacionales e internacionales, comprometida con el desarrollo sostenible del campo, altos estándares de calidad que satisfagan las

necesidades de las partes interesadas, manteniendo procesos dinámicos y eficientes en procura de lograr crecimiento empresarial, bienestar social y beneficio económico. [1]

1.3 Visión

Para el año 2021 MAVALLE S.A.S se consolidará como una empresa pionera en la transformación de cauchos naturales especiales, orientados a nichos de mercados nacionales e internacionales. [1]

1.4 Descripción del proceso de transformación de caucho natural a caucho crepe

1.4.1 Materia prima

Para la obtención de materia prima se debe iniciar con el proceso de rayado del árbol. Este procedimiento consiste en realizar un corte diagonal al árbol del cual brota un líquido llamado látex, este será recolectado en un recipiente hondo de plástico, al cual se le agrega ácido fórmico para ser coagulado y así obtener un producto sólido al cual se le denomina chipa o coágulo de látex.

1.4.2 Recolección

Pasado un periodo de tiempo se debe recolectar la muestra. Durante este proceso se debe realizar una revisión superficial del coágulo con el fin de verificar que el material no posee cuerpos extraños como palitos, insectos, semillas u otros cuerpos extraños que puedan afectar el proceso al cual será sometido o a su resultado final.

1.4.3 Crepado

Las muestras coaguladas recolectadas en campo pasarán por un proceso de crepado o laminado del coágulo, el cual consiste en la selección de una cantidad específica de chipa, la cual se llevará a una máquina llamada crepadora. Este equipo inicialmente tritura la muestra en trozos pequeños para después ser compactados por unos cilindros, con el fin de obtener una hoja uniforme y compacta a la cual se le llamara crepe, este proceso debe realizarse varias veces para garantizar la homogenización del material y así garantizar el resultado deseado.

1.4.4 Secado

Ya con la hoja crepe lista se toma una muestra para ser llevada al horno y el sobrante podrá ser descartado. Esta muestra será sometida a una temperatura controlada por un tiempo determinado para garantizar una cocción homogénea del material y así evitar que el producto quede con humedad o se presenten derretimientos.

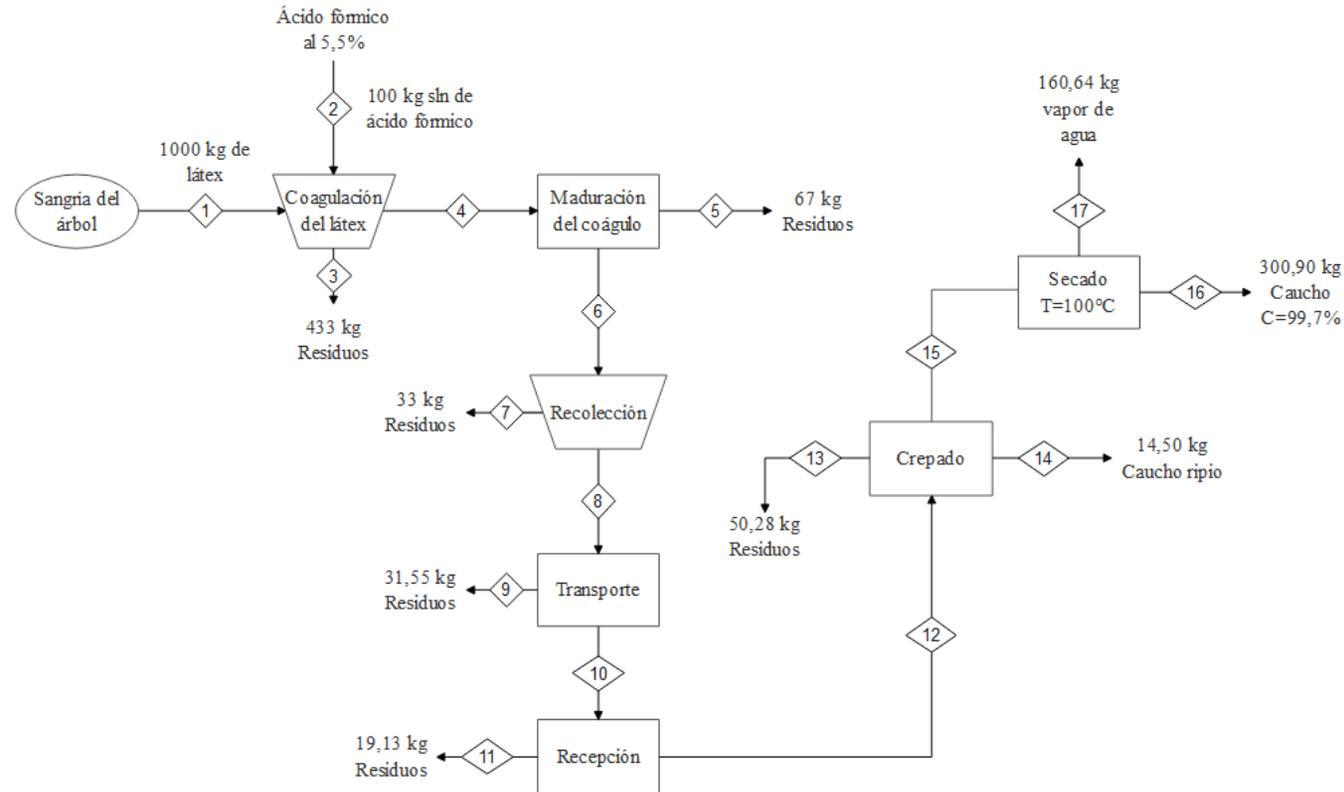
1.4.5 Análisis de laboratorio

Finalizado el proceso de secado y dejando reposar la muestra, se procederá a realizar los análisis fisicoquímicos que establecen la calidad y conformidad de la materia prima, los cuales son: Viscosidad Mooney, plasticidad inicial, índice de retención de plasticidad, contenido de nitrógeno, cenizas, volátiles y suciedad.

A continuación, se presenta el diagrama del proceso (Figura 2).

Figura 2.

Diagrama del proceso de transformación del látex natural a caucho crepe.



		Balance de materia																
Componentes	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Latex	kg	1000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ácido fórmico al 5,5%	kg	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Residuos	kg	0,00	0,00	433,00	367,00	67,00	300,00	33,00	277,00	31,55	245,45	19,13	226,32	50,28	0,00	161,54	0,90	0,00
Caucho	kg	0,00	0,00	0,00	300,00	0,00	300,00	0,00	300,00	0,00	300,00	0,00	300,00	0,00	0,00	300,00	300,00	0,00
Caucho ripio	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,50	0,00	0,00	0,00
Vapor de agua	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	160,64

Nota. Diagrama de bloques del proceso de transformación del látex natural a caucho crepe y su respectivo balance de materia en flujo masico.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta una conceptualización de las condiciones fisicoquímicas de las materias primas, composiciones, operaciones y equipos necesarios para el proceso y la realización de los análisis para el caucho seco.

2.1 Árbol de caucho

Su nombre científico es *Hevea brasiliensis*, aunque comúnmente se conoce como árbol de caucho (Figura 3.). Este árbol mide de 20 a 30 metros de altura, su tronco es recto y cilíndrico con un diámetro de 30 a 60 centímetros de madera blanca y liviana. El látex extraído de este árbol es blanco o amarillento y abundante hasta los 25 años de edad. [13]

Figura 3.

Árbol de caucho



Nota. *Árbol de caucho recién rayado.*

2.1.1 Taxonomía del árbol de caucho

La clasificación taxonómica del árbol de caucho se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la especie Hevea brasiliensis

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Subfamilia	Malpighiales
Tribu	Micrandreae
Subtribu	Heveinae
Genero	Hevea
Especie	H. brasiliensis

Nota. La tabla muestra la taxonomía del árbol de caucho. Tomado de: D. De Chazuta et al, universidad nacional de san martín -Tarapoto facultad de ingeniería agroindustrial escuela profesional de ingeniería agroindustrial tesis *"preservación y caracterización fisicoquímica del látex natural del caucho (hevea brasiliensis) en el distrito de Chazuta región san martín,"* 2017

2.2 Condiciones del medio

Desde el proceso de obtención de látex hasta la transformación a caucho seco se debe tener en cuenta diversos factores a los que normalmente está expuesto el árbol, las cuales pueden llegar a afectar las propiedades finales del caucho seco, como plasticidad, Viscosidad Mooney, entre otras.

2.2.1 Factor humano

Este factor es de gran importancia debido a que los trabajadores deben de cumplir con varios parámetros para poder obtener el látex necesario para su debida coagulación sin afectar el árbol o contaminar el líquido obtenido.

2.2.1.a. Profundidad de la pica. Existen normas para establecer a qué profundidad debe ser perforado el árbol para no herir su corteza y con esto evitar posibles contaminaciones que este puede adquirir. [3]

2.2.1.b. Puntualidad. Este procedimiento se debe realizar en horas del amanecer con el fin de obtener la mayor cantidad de látex.

2.2.2 Factores ambientales

2.2.2.a. Temperatura. Los árboles de *Hevea brasiliensis* son de temperaturas cálidas en promedio de 22 a 25 °C, temperaturas inferiores a estas pueden afectar el crecimiento del árbol. [3]

2.2.2.b. Lluvias. Las temporadas de lluvia afectan el proceso de recolección del látex, ya que este debe de realizarse en seco. La contaminación por agua lluvia a la cual se expone el látex al momento del goteo ocasiona afectaciones en el producto final, disminuyendo sus características físicas. [3]

2.2.2.c. Sol. Los periodos de larga radiación solar pueden llegar a ocasionar una disminución de la obtención del látex, lo cual podría llegar a generar afectaciones en el momento de la producción. [3]

2.2.2.d. Enfermedades y plagas. Existen diversas enfermedades y plagas que afectan a las hojas, corteza, ramas, paneles y raíces del árbol. Para cada una de ellas existe un tratamiento el cual debe ser aplicado en el menor tiempo posible para no generar afectaciones graves en el árbol o el látex obtenido. [3]

2.3 Látex natural

El látex es una dispersión coloidal de moléculas de caucho en un medio acuoso, denominado suero, la composición de este líquido es compleja ya que además de agua y del hidrocarburo de caucho, el látex contiene pequeñas cantidades de otras sustancias conocidas como "constituyentes no caucho". Estos constituyentes están conformados por azúcares, proteínas, lípidos, sales inorgánicas, sales minerales, enzimas,

carbohidratos, lutoides y otras sustancias nitrogenadas que se encuentran ya sea en dispersión o en solución en el suero. [2]

2.3.1 Características generales del látex

2.3.1.a. Contenido de caucho seco (DRC). (Dry Rubber Content), este contenido de caucho seco corresponde a la fase dispersa del látex separada del suero, es decir al porcentaje en peso que puede ser coagulado por un ácido. Adicional a ello se debe realizar varios lavados, prensado y secado del coágulo. El contenido de caucho seco, o DRC del látex, varía en un amplio rango que depende del origen clonal, la edad de los cultivos, las condiciones climáticas, y las modalidades de la pica (intensidad de la pica, estimulación, situación del corte). [3]

2.3.1.b. Constituyentes no caucho del látex. Estas sustancias hacen referencia a los elementos de la materia viva (Tabla 2.); principalmente prótidos, glúcidos, lípidos y sales minerales. En la tabla 1 se encuentran estas sustancias y, para las principales, indica sus concentraciones aproximadas en el látex. [3]

2.3.1.c. Contenido de sólidos totales. Hace referencia a toda la materia prima que permanece como residuo en el látex después de haber pasado por un proceso de evaporación y secado a una temperatura superior a 103 °C. Aproximadamente el 90% son de hidrocarburo de caucho, también se encuentran enzimas, proteínas, azúcares, entre otros. [4]

2.3.1.d. Cantidad de ácidos grasos volátiles (VFA). Esta propiedad hace referencia al grado de biodegradación al que el látex ha sido sometido. Es una medida de la concentración de ácidos orgánicos como oleico, linoleico, araquídico entre otros, los cuales son subproductos generados por digestión bacteriana de los compuestos diferentes al caucho causando putrefacción y precoagulación. [2]

2.3.1.e. Aspecto físico. El látex, tal y como gotea después de la pica, se presenta, bajo un aspecto lechoso blanco, opaco, aunque en ocasiones puede ser ligeramente amarillo según sea su origen, con un leve olor dulce o inoloro.

Tabla 2.

Composición del Látex

Componente	Porcentaje (%)
Contenido de sólidos totales	41,50
Hidrocarburos de hule	36,10
Proteínas	1,40
Lípidos neutrales	1,00
Fosfolípidos	0,60
Ceniza	0,50
Carbohidratos e inositol	1,60
Otros compuestos nitrogenados	0,30
Agua	58,50

Nota. Esta tabla muestra la composición del látex natural y en qué porcentaje se encuentra cada componente. Tomado de: D. E. Látex et al, "Elaboración de las curvas de secado de látex natural de campo y látex natural concentrado, en la determinación del contenido de hule seco (DRC) y el contenido total de sólidos (TSC) en industrias,".

2.3.1.f. pH. El pH del látex recién recolectado está muy cerca de la neutralidad, esta condición avanza rápidamente después de ser extraído del árbol, debido a la influencia de microorganismos y enzimas presentes en el caucho que ocasionan una acidificación progresiva del medio, llegando a que ocurra su coagulación natural. [3]

2.3.1.g. Densidad. Esta propiedad varía según su porcentaje de DRC. Oscila entre 0,974 y 0,991 para valores de DRC de 40% y 25% respectivamente. [3]

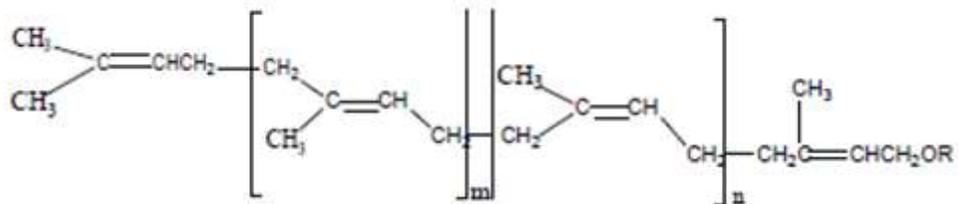
2.4 Estructura química del látex

Este líquido lechoso, blanco e inoloro es en su mayoría, una dispersión coloidal de una sustancia polimérica en un medio acuoso. Estas partículas esféricas están compuestas de macromoléculas de hidrocarburo de caucho cis-1,4-poliisopreno (Figura 4.) que se encuentran dispersas de manera estable en el medio acuoso, esto gracias a las

diferentes sustancias naturales emulsionantes (proteínas, fosfolípidos, aminoácidos, carbohidratos, entre otros). [7]

Figura 4.

Molécula del caucho natural.



Nota. La figura muestra la unión de los monómeros del látex para formar la cadena polimérica del caucho. Tomado de: Compagnon, P., 1998). "El caucho natural, biología, cultivo, producción." *Consejo Mexicano Del Hule Y CIRAD.México.*

2.5 Composición del látex

Además del agua y del hidrocarburo de caucho, las cuales conforman más del 90% del látex se encuentran sustancias llamadas constituyentes no caucho, las cuales aportan propiedades específicas a los diferentes procesos a los cuales es sometido el látex. [4]

2.5.1 Proteínas

El contenido de proteínas en el látex es aproximadamente 1,5%, del cual el 20% es absorbido por las moléculas de hidrocarburo de caucho. Estas proteínas aportan la estabilidad coloidal al látex y se mantienen asociadas al caucho después de haber sido coagulado el látex. [2]

2.5.2 Lípidos

Son moléculas insolubles en agua que se encuentran principalmente concentrados en la capa de caucho natural, la concentración de estos varía de 1,4% a 3,2% según el estado en el que se encuentre las moléculas de caucho en el látex (en el contenido de caucho seco o disueltas en el suero respectivamente). [2]

2.5.3 Carbohidratos e inositoles

Sin la preservación adecuada del látex, los carbohidratos son metabolizados por bacterias y los transforman en ácidos grasos volátiles. Estas sustancias no se encuentran presentes en el látex natural por lo cual la presencia de alguna concentración en el látex o caucho comercial es una medida del grado de descomposición bacteriana a la cual el látex ha sido expuesto. Un aumento en la cantidad de sales de amonio en los ácidos grasos volátiles en el látex causa una disminución en la estabilidad mecánica del material. [2]

2.5.4 Compuestos nitrogenados

Son derivados de la hidrólisis enzimática o química de las proteínas. Una parte de los prótidos es absorbida sobre la superficie de las partículas del caucho y actúan como estabilizantes sobre las partículas de caucho; la otra parte se encuentra en la fase acuosa del látex y de igual manera estabilizan la suspensión de hidrocarburo caucho en el suero [12].

2.5.5 Propiedades coloidales

Es una suspensión de partículas que se caracteriza por su movimiento, carga eléctrica y la manera en la cual la luz es transmitida a través de la solución y reflejada de ella, esta se divide en dos fases, la primera es una fase dispersante y la segunda una fase dispersa. [4]

El suero o fase dispersante es un medio heterogéneo debido a los constituyentes no caucho solubles en agua que este posee, como los prótidos, azúcares, aminoácidos, sales minerales, enzimas, entre otros. Es también considerada como única fase debido al grado de dispersión más diluido que el de las partículas. La fase dispersa se compone de las partículas de caucho, cuyas dimensiones varían según el origen del látex y las condiciones de recolección. [12]

2.6 Hidrocarburos de caucho

2.6.1 Grupos funcionales en hidrocarburos

Son grupos de átomos que tienen propiedades y características definidas, estos compuestos están formados básicamente por una cadena larga de carbono (C) e hidrógeno (H) [4].

2.6.2 Tipos de grupos funcionales en hidrocarburos de caucho

2.6.2.a. Alcanos. Son hidrocarburos simples que se caracterizan por poseer únicamente enlaces sencillos de carbono-carbono (C-C y C-H), su fórmula general es $C_nH_{(2n+2)}$ [4].

2.6.2.b. Alquenos. Son hidrocarburos de primer grado de oxidación, su estructura está formada por moléculas que tienen mínimo un enlace doble (C=C) y se nombran con el sufijo eno [4].

2.7 Coagulación del látex

Es el proceso en el cual se aglutinan las partículas de caucho ocasionando la separación de la fase dispersa (caucho seco) del suero. Para este proceso existen diferentes tipos de coagulación. [3]

2.7.1 Tipos de coagulación

2.7.1.a. Coagulación espontánea. El látex al ser un producto natural está expuesto a una intensa actividad biológica si no se le realiza un tratamiento en corto tiempo, de lo contrario al estar en contacto con el aire puede ser contaminado por diferentes tipos de bacterias que ocasionan la fermentación de los azúcares descomponiendo las proteínas. Transcurrido un determinado tiempo si esta actividad biológica no se detiene, produce la coagulación espontánea del látex. [3]

2.7.1.b. Coagulación por alcoholes. Los alcoholes tienen una acción sobre la solvatación del látex, debido a que son deshidratantes energéticos. [8]

2.7.1.c. Coagulación por ácidos. Por medio de la adición de ácido al látex para obtener un coágulo estable. El ácido conduce a un descenso del pH, alcanzando así el punto isoeléctrico, donde la carga eléctrica es nula, y por consiguiente hay supresión de la repulsión electrostática y coagulación. [8]

2.7.1.d. Coagulación por sales. Al adicionar sales al látex, como nitrato o cloruro de calcio ocurre una descarga de las partículas de caucho. [8]

2.7.1.e. Coagulación por agitación mecánica. Por medio de una agitación enérgica y prolongada se produce un aumento de la energía cinética media de las partículas, la cual, permite vencer la repulsión eléctrica entre ellas y la inercia de la capa de hidratación, conduciendo a la coagulación. [8]

2.7.2 Acidificación

La reagrupación de las moléculas de caucho dispersas en el látex se consigue agregando ácidos a diferentes concentraciones. [9]

2.7.2.a. Ácido fórmico. Es el principal ácido utilizado en la industria cauchera en Colombia debido a su bajo costo y tiempo de coagulación y a la estabilidad que este proporciona al caucho seco. Posee niveles de toxicidad elevados, lo cual representa un riesgo para la salud de los trabajadores, los cuales deben de trabajar con elementos de protección personal para evitar cualquier tipo de exposición a la sustancia y disminuir los riesgos a la salud.

2.7.2.b. Ácido acético. Al igual que el ácido fórmico es común utilizar este ácido para la coagulación del látex, pero sus implicaciones medioambientales y a la salud de los trabajadores puede llegar a representar un aumento en costos debido a los cuidados y elementos de seguridad que el personal debe de utilizar para evitar cualquier afectación a su salud. [8]

2.8 Coágulo o chipa de caucho

Es el producto resultante del proceso de coagulación que se le realiza al látex. Este material tiene diversas características dependiendo de varios factores como el tipo de

coagulación, ácido utilizado, la concentración de ácido empleada, la edad del árbol, las condiciones climáticas de la época del año, entre otras. [3]

En la Tabla 3. se presenta la composición del caucho bruto.

Tabla 3.

Composición del caucho natural

Constituyentes	Composición promedio	Valores extremos
Hidrocarburo caucho	94,00%	-
Extracto acetónico	2,50%	de 1,50 a 5,00%
Proteínas	2,50%	de 1,60 a 3,00%
Cenizas	0,30%	de 0,20 a 0,50%
Materiales volátiles (entre ellas humedad)	0,50%	de 0,30 a 1,00%

Nota. Esta tabla muestra la composición del caucho natural y sus rangos de proporción medidos en porcentaje. Tomado de: Compagnon, P., 1998). "El caucho natural, biología, cultivo, producción." Consejo Mexicano Del Hule Y CIRAD.México.

2.9 Composición del caucho natural

2.9.1 Hidrocarburo caucho

El constituyente principal del caucho natural es el cis 1-4 poliisopreno. El porcentaje elevado de esta configuración y la estéreo regularidad de la macromolécula permiten las propiedades físicas del caucho. [3]

2.9.2 Contenido de nitrógeno

Este factor advierte de la presencia de productos nitrogenados en el látex (principalmente proteínas y aminoácidos), conservados en el caucho después de un tratamiento en plantación. El grado de nitrógeno es muy variable, depende de la variedad de clon, pero también de las condiciones de coagulación. [3]

2.9.3 Cenizas

Las cenizas obtenidas después de la calcinación del caucho provienen de la totalidad de los minerales presentes en el látex en el momento de la sangría; también pueden incluir elementos resultando de la contaminación durante la cosecha del látex y de los contaminantes que se encuentran en el caucho después de procesado. [3]

2.9.4 Porcentaje de impurezas

A pesar de los cuidados que se tienen durante la sangría del árbol y la recolección del material, se presentan en el caucho una pequeña cantidad de impurezas debido a la caída de hojas, ramas o insectos que pueden caer a la tasa de recolección del látex, también los vientos pueden arrastrar, arena, tierra o desechos vegetales que ocasionan la contaminación del material. [3]

2.9.5 Humedad

Hace referencia a la humedad presente en el caucho después de haber sido procesado. Esta condición puede ocasionar la generación de hongos filamentosos durante su almacenamiento afectando la presentación del producto, así como sus propiedades. [3]

2.9.6 Extracto acetónico

El caucho contiene sustancias no caucho que se disuelven en acetona como lípidos, glúcidos, derivados aminados entre otras. Estos provienen de la maduración del caucho y pueden representar un valor significativo en el proceso de vulcanización como aceleradores naturales. [3]

2.9.7 Metales tóxicos

Se encuentran en el caucho en cantidades muy bajas y pueden ser tóxicos para el mismo. La contaminación del caucho durante su recolección puede generar un aumento de estos valores en el caucho, pero sin ser nocivos, este valor se ve reflejado en el índice de retención de plasticidad ante la acción del calor y el oxígeno. [3]

2.10 Propiedades físicas del caucho

El caucho seco debe ser sometido a diferentes pruebas físicas para poder establecer sus propiedades, las cuales serán comparadas con los rangos establecidos por la norma internacional ISO 2000:2014 para cauchos técnicamente especificados, para poder realizar su comercialización. Los procedimientos necesarios para la caracterización de la materia son:

2.10.1 Plasticidad (P0)

Este parámetro hace referencia al posible nivel de degradación del caucho, este factor depende, sobre todo, en el caso de los coagulantes en el campo o malas condiciones de almacenamiento. Un valor de P0 inferior a 30 puntos implica el rechazo del lote a producto no conforme. [5]

2.10.2 Índice de retención de plasticidad (PRI)

(Plasticity Retention Index), indica la sensibilidad de la goma bruta ante la acción combinada del calor y del oxígeno, también denominada prueba de envejecimiento. Este parámetro proporciona información valiosa sobre la calidad del caucho, especialmente cuando se trata de caucho coagulado en el mismo sitio. [5]

2.10.3 Viscosidad Mooney

El látex es un producto relativamente tixotrope, es decir, que al estar en estado estacionario mantienen una consistencia estable y al ser agitado se comportan de manera fluida. La Viscosidad Mooney puede variar en grandes proporciones, principalmente en función de la concentración del caucho, por consiguiente, la Viscosidad Mooney de un látex fresco tendrá un valor muy inferior respecto a un látex concentrado. Esta propiedad determina la reacción opuesta por la goma al esfuerzo de cizalladura ocasionado por un rotor al interior del equipo. [3]

2.11 Equipos

Para el proceso de transformación de látex natural a caucho seco se necesitan varios equipos, así como para la medición de sus propiedades fisicoquímicas del material

resultante, cada uno de ellos con métodos y condiciones diferentes. Los cuales son mencionados en la Tabla 4.

Tabla 4.

Equipos para el análisis de propiedades fisicoquímicas del caucho seco

Equipo	Descripción	Figura
<p>Crepadora</p>	<p>Es una máquina que tritura el coágulo de caucho en trozos más pequeños para que posteriormente, estos pasen por unos molinos que compacta y lamina la muestra a la cual se le denominará caucho crepe.</p>	
<p>Horno de secado</p>	<p>Es un equipo en el cual se seca la muestra por un periodo de tiempo a una temperatura controlada y constante.</p>	
<p>Viscosímetro Mooney</p>	<p>Es un equipo utilizado para la medición de la viscosidad del caucho tradicional en unidades Mooney. El método consiste en una reacción opuesta por la goma al esfuerzo de cizalladura provocado por el rotor bajo condiciones isotérmicas a una velocidad constante de 2 rpm. Este valor está muy relacionado con la plasticidad</p>	

Tabla 4. Continuación

<p>Molino de laboratorio</p>	<p>Es un molino de rodillos que opera a diferentes temperaturas desde 0°C hasta 65°C. su finalidad es homogenizar la muestra a la temperatura necesaria para el procedimiento, disminuyendo el grosor del caucho para poder ser analizado por los diferentes métodos.</p>	
<p>Plastimetro Wallace</p>	<p>El método consiste en comprimir la muestra bajo una fuerza de 100 Newtons, para ello el equipo consta de dos platos, cada uno de 10 mm de diámetro a una temperatura constante de 100°C, durante 30 segundos (15 segundos estabilizando y 15 segundos tomando el resultado).</p>	
<p>Horno de envejecimiento</p>	<p>También conocido como cámara de envejecimiento. Este equipo calienta con aire los discos de caucho utilizados para la determinación de plasticidad a una temperatura de 140°C durante 30 minutos, estos resultados son comparados con las muestras sin envejecer y así analizar el comportamiento del caucho con el paso del tiempo.</p>	

Tabla 4. Continuación

<p>Mufla</p>	<p>La mufla tiene como finalidad calcinar la muestra introducida, alcanzando una temperatura de hasta 1200°C. Debido a sus altas temperaturas cuenta con aislantes térmicos, disminuyendo significativamente la transferencia de calor.</p>	
<p>Destilador Kjeldahl</p>	<p>Este destilador trabaja con el método Kjeldahl, el cual es utilizado para la determinación del contenido de nitrógeno en el caucho. Este método cuenta con tres etapas, la primera es una digestión, la segunda es la destilación y finalmente la valoración por medio de una titulación.</p>	
<p>pH-metro</p>	<p>Es un sensor electroquímico para medir el pH, es decir el potencial de hidrógeno de las soluciones indicando su acidez o alcalinidad.</p>	

Tabla 4. Continuación

<p>Agitador magnético</p>	<p>Es un instrumento en el que al poner sobre él una solución con un agitador, mezcla los compuestos hasta obtener el resultado deseado, puede trabajar a diferentes temperaturas y revoluciones según se requiera.</p>	
----------------------------------	---	---

Nota. Esta tabla muestra los equipos que son utilizados en el proceso de caracterización del caucho seco con su respectiva descripción.

2.12 Polímeros

Son macromoléculas naturales o sintéticas de elevado peso molecular, cuyo principal componente es el carbono C. Estas grandes moléculas se conforman por la repetición sucesiva de unidades químicas pequeñas y simples por medio de enlaces covalentes denominadas monómeros, unidas mediante una reacción de polimerización. [14]

Las moléculas que constituyen los polímeros se caracterizan por:

- Ser muy grandes (elevada masa molecular)
- Tener sus átomos unidos mediante enlaces covalentes
- Poseer una estructura repetitiva

2.12.1 Distribución peso molecular

Por medio de enlaces covalentes, los monómeros de bajo peso molecular se unen para formar la cadena polimérica. “El grado de polimerización n puede tomar un amplio rango de valores, desde 50 a más de 10000 unidades repetitivas, lo cual hace que las cadenas poliméricas tengan un alto peso molecular”. [19] Esta propiedad otorga diferentes características físicas a los polímeros.

2.12.2 Tipos de polímeros

2.12.2.a. Termoplástico. Son polímeros lineales, o poco ramificados. Se funden por el calor y se pueden moldear nuevamente ya que no pierden sus propiedades, adicionalmente son polímeros reciclables. [17]

2.12.2.b. Termoestables. Debido a su estructura tridimensional no pueden ser moldeados nuevamente ya que al calentarse se endurecen o descomponen. [17]

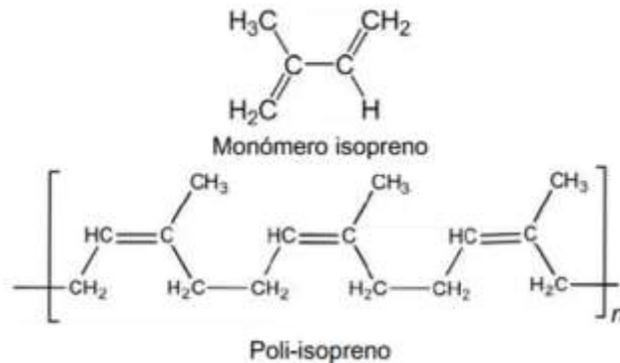
2.12.2.c. Elastómero. Son polímeros de cadenas largas y entrecruzadas; pueden aumentar su longitud cuando se estiran y recuperar su forma original. [17]

2.12.3 Poliisopreno

El poliisopreno (Figura 15.) es un polímero formado a partir del monómero de isopreno que contiene dos enlaces dobles de carbono-carbono en su estructura. El caucho natural posee una estructura Cis en casi todos sus dobles enlaces (Cis-1.4-poliisopreno). Al no tener sustituyentes fuertemente polares, la atracción intermolecular queda limitada a las fuerzas de Van Der Waals débiles por la configuración Cis en sus dobles enlaces. [18]

Figura 5.

Monómero y polímero de isopreno.



Nota. La figura muestra el monómero de isopreno y la cadena resultante de la unión de n cantidad de esta molécula conocida como poli-isopreno. Tomado de: F. López-Serrano and E. Mendizábal, "Introducción a la ciencia de los polímeros Selective Drug Delivery Systems View project Understanding/modeling the Pickering emulsion polymerization SiO₂-supported View project," 2015.

2.12.3.a. Propiedades del poliisopreno. El caucho natural o poliisopreno posee características específicas (Tabla 5.), las cuales favorecen su proceso de transformación en diferentes materiales, adaptándose fácilmente a los procesos y condiciones a los cuales sea sometido.

Tabla 5.

Propiedades del poliisopreno

	Característica	Criterio/Valor	Unidades
Propiedades generales	Adhesión a metales	Excelente	N.A.
	Adhesión a tejidos	Excelente	N.A.
	Rango de temperatura de trabajo	20 a 80	°C
Resistencia ambiental	Oxígeno	Buena	N.A.
	Ozono	No usar	N.A.
	Agua y luz solar	Uso en casos especiales	N.A.

Tabla 5. Continuación

	Dureza	40 a 85	ShA
	Resistencia a la tracción Max.	300	(kg/cm ²)
	Alargamiento de rotura Max	650	%
	Deformación permanente por compresión	Excelente	N.A.
	Resiliencia	Excelente	N.A.
Propiedades físicas	Resistencia eléctrica	Excelente	N.A.
	Resistencia de flexión	Buena-Excelente	N.A.
	Resistencia a la abrasión	Buena	N.A.
	Resistencia al impacto	Excelente	N.A.
	Envejecimiento a 100°C	Pobre-Buena	N.A.
	Elasticidad a 100°C	Buena	N.A.
	Resistencia a la llama	No usar	N.A.
	Temperatura de rigidez	-30 a -45	°C
	Punto de vidrio	-65	°C
		Agua / Vapor	Excelente-Buena
	Álcalis diluidos / concentrados	Excelente-Pobre	N.A.
	Ácidos diluidos / concentrados	Excelente-Pobre	N.A.
Resistencia química	Hidrocarburos aromáticos (Benceno, Tolueno)	No usar	N.A.
	Cetonas, solventes oxigenados	Buena	N.A.
	Alcoholes	Buena-Excelente	N.A.

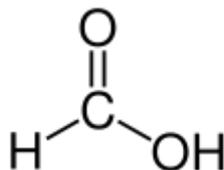
Nota. Esta tabla muestra las diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas del poliisopreno. Tomado de: Tecnologiadelosplasticos.blogspot.com. 2011. Poliisopreno (Caucho natural y sintético) [18].

2.13 Comportamiento químico del látex al coagular con ácido fórmico

También conocido como ácido metanoico, es uno de los ácidos orgánicos más simples que se puede encontrar en algunos insectos y plantas. Está constituido por un átomo de carbono unido a dos moléculas de hidrógeno y dos de oxígeno [22] (Figura 16.).

Figura 6.

Molécula del ácido fórmico.



Nota. Estructura Gráfica del ácido fórmico
Tomado de: Bolívar, G., 2021. Ácido fórmico (HCOOH): estructura, propiedades, usos, y reacciones. [online] Lifeder. Available at: <<https://www.lifeder.com/acido-fórmico/>> [Accessed 27 October 2021].

Este ácido pertenece al grupo carboxílico en el cual se pueden encontrar dos grupos, uno hidroxilo (-OH) el cual será el donador de hidrógeno y el formilo (-CH=O) donador del oxígeno, ambos capaces de formar puentes de hidrógeno [23].

2.13.1 Propiedades

En la Tabla 6. se mencionan las propiedades físicas y químicas del ácido fórmico.

Tabla 6.*Propiedades fisicoquímicas del ácido fórmico*

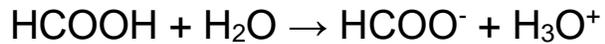
Condición	Característica
Aspecto	Líquido a temperatura ambiente
Color	Incoloro
Olor	Fuerte y penetrante
Peso molecular	46,00 g/mol
Punto de fusión	8,40 °C
Punto de ebullición	100,80 °C
Miscibilidad	Agua y solventes orgánicos polares (Éter, acetona, metanol y etanol)
pKa	3,77
Densidad relativa (agua=1)	1,22
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,60
Presión de vapor, kPa a 20 °C	4,40

Nota. Esta tabla describe algunas propiedades fisicoquímicas del ácido fórmico. Basado en. Bolívar, G., 2021. Ácido fórmico (HCOOH): estructura, propiedades, usos, y reacciones. [online] Lifeder. Available at: <<https://www.lifeder.com/acido-formico/>> [Accessed 27 October 2021].

2.13.2 Medio de coagulación del látex

El ácido fórmico es la sustancia más utilizada en la industria cauchera para la coagulación del látex, debido a la estabilidad que éste proporciona a la chipa resultante. Para el proceso de coagulación con ácido fórmico, se debe adicionar al látex una cantidad específica de disolución de ácido fórmico con agua en concentraciones de 3 a 7%, debido a que, al aumentar las concentraciones de la sustancia, la rigidez del caucho aumenta, dificultando su procesamiento. El trabajador que manipula la solución también será afectado por este aumento, ya que esta sustancia química produce afectaciones graves en la salud.

Para el proceso de coagulación con ácido fórmico se debe diluir el ácido en agua, de esta reacción se desprende el anión HCOO^- y el catión H_3O^+ produciendo un líquido iónico.



Reacción del ácido fórmico con agua.

2.13.2.a. Polimerización por coordinación. La polimerización por coordinación puede ser aniónica, catiónica o de radical libre. Generalmente este método utiliza un catalizador en forma de suspensión de pequeñas partículas sólidas en un medio inerte. Los catalizadores Ziegler-Natta tienen la propiedad de polimerizar una gran variedad de monómeros y polímeros lineales, los dienos como el isopreno pueden polimerizarse a productos que son casi exclusivamente cis-1,4: trans-1.4 dependiendo del catalizador y las condiciones seleccionadas. [20]

2.13.2.b. Polimerización aniónica. Para la iniciación de la polimerización aniónica se debe agregar al monómero un ion negativo, el cual conlleva al rompimiento o apertura del doble enlace presente en el monómero del isopreno, esto producirá la unión de los monómeros por medio del átomo de carbono *Beta* (no sustituido) del extremo de la cadena creciente. En la polimerización aniónica, por lo general la terminación hace referencia a la transferencia y la cadena cinética se rompe sólo si la nueva especie es demasiado débil para propagarse. [20]

Por medio de un proceso de purificación para eliminar todas las especies en las que se pueda producir la transferencia, la etapa de terminación se elimina efectivamente y las cadenas crecientes siguen activas indefinidamente, este es denominado como polímeros “vivos”. [20]

2.14 Vinazas

Las vinazas son un residuo industrial generado por la producción de etanol a partir de la fermentación y la destilación de la caña de azúcar. Este producto se caracteriza por ser un líquido de color marrón, olor dulce, con elevada carga orgánica, sales minerales, pH ácido, altos contenidos de DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (demanda biológica de oxígeno). [10]

2.14.1 Composición de las vinazas

La composición de las vinazas depende del método de fermentación alcohólica, tipo de levadura empleada, materia prima procesada, entre otras. [10] La vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, enzimas lignina ceras, azúcares y demás compuestos que se encuentran en proporciones variables según variedad y época del año y de las eficiencias del proceso. [11]

2.14.2 Caracterización fisicoquímica

Este material pasa por un proceso de descomposición natural en el cual los microorganismos presentes en el medio fermentan la sustancia y degradan ciertos compuestos orgánicos. En la tabla 7. Se presentan algunas características de las vinazas obtenidas en Colombia en función de la concentración de sólidos totales (ST).

Tabla 7.
Características de las vinazas de caña de azúcar

Análisis	Unidad	Vinaza 60% ST	Vinaza 10% ST
Materia orgánica	(%)	44,30	4,20-6,70
N	(%)	0,92	0,09
P ₂ O ₅	(%)	0,04	0,02
K ₂ O	(%)	4,70	0,11
CaO	(%)	1,27	0,19
MgO	(%)	0,65	0,19
SO ⁼⁴	(%)	2,50	0,38
pH	-	4,30-4,50	3,50-4,30
Densidad	(kg/m ³)	1350,00	-
Conductividad e-	dS/cm	17,00	11,00
Viscosidad Mooney	cP	450,00	-

Nota. Esta tabla muestra una breve caracterización de las vinazas provenientes de la caña de azúcar. Tomado de: Becerra Ospina, N. L., .2014."Clarificación De Vinazas De Caña De Azúcar Por Tratamiento Fisicoquímico Y Filtración Con Membranas." 2014.

3. SELECCIÓN DE LAS VINAZAS

Los datos registrados en la Tabla 7. Permiten destacar algunas características sobre las cuales se fundamentan las ventajas y desventajas sobre las alternativas de tratamiento, como son, la elevada concentración electrolítica, el bajo pH y el contenido de materia orgánica. [11]

Debido a la composición de las vinazas se selecciona esta sustancia como coagulante del látex al tener propiedades ácidas, las cuales son necesarias para el proceso de coagulación del látex. Los principales ácidos que están presentes son el ácido fórmico, ácido acético y ácido benzoico, [11] aunque son los dos primeros ácidos mencionados los que podrían reaccionar fácilmente para el debido proceso de coagulación ya que el ácido benzoico no es muy soluble en agua fría, para su solubilidad se debe calentar el agua.

Al mezclar vinazas con agua se producen iones negativos debido a los ácidos fórmico y acético, produciendo el debido rompimiento del doble enlace presente en la molécula de isopreno y generando la unión de más moléculas formado de esta manera la cadena polimérica del poliisopreno.

4. CARACTERIZACIÓN DE LAS VINAZAS

Con el fin de conocer algunas de las características de las vinazas usadas en el laboratorio, se realizó una evaluación fisicoquímica de algunas de sus principales propiedades (Tabla 8.), las cuales pueden llegar a influir en el proceso de coagulación del caucho natural y/o alterar las propiedades fisicoquímicas resultantes del caucho natural.

4.1 Elaboración de ensayos de laboratorio para caracterización de vinazas

Se realizaron 4 ensayos en el laboratorio, los cuales son presentados a continuación.

4.1.1 pH

Para la medición de pH se utiliza el pH metro (Figura 17). Para ello se introduce el medidor en un beaker de vidrio con una determinada cantidad de vinazas a temperatura ambiente. Este indica el valor de pH y a que temperatura se encuentra la sustancia.

Figura 7.

Medición de pH para las vinazas.



Nota. Medición del pH de las vinazas utilizadas en el proyecto.

4.1.2 Cenizas

Para este método se debe tomar una muestra de vinazas, la cual será dispuesta en un crisol y posteriormente en una mufla a altas temperatura para ser evaporada la muestra y luego calcinada por un determinado tiempo. Finalizado el tiempo, por diferencias de pesos se calcula el porcentaje de cenizas obtenido.

4.1.3 Contenido de nitrógeno

Para este procedimiento inicialmente la muestra debe ser preparada, ya lista debe ser disuelta en ácido sulfúrico a diferentes temperaturas y tiempos en el digestor Kjeldahl (Figura 18.), posteriormente se titula con una determinada solución a bajas concentraciones. Por medio de diferentes cálculos se obtiene la cantidad de nitrógeno de las vinazas utilizadas.

Figura 8.

Disposición para evaluación de contenido de nitrógeno.



Nota. Equipo Kjeldahl utilizado para la transformación de vinazas en amonio, para medición de nitrógeno presente en la sustancia.

En la Tabla 8. se presentan los resultados obtenidos de la caracterización realizada en el laboratorio de las vinazas.

Tabla 8.

Propiedades fisicoquímicas de las vinazas usadas en el laboratorio.

Característica	Valor/Aspecto	Unidades
pH a 26,5 °C	3,77	N.A.
Densidad	1,10	g
Cenizas	4,57	% (m/m)
Contenido de Nitrógeno	0,39	% (m/v)
Olor	Dulce/avinagrado	N.A.
Color	Marrón	N.A.

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas de las vinazas utilizadas en el laboratorio para la coagulación de látex natural.

Estas propiedades fueron evaluadas a temperatura ambiente según las condiciones de ubicación de la planta de proceso (T= 26,5°C aproximadamente).

5. COAGULACIÓN DEL LÁTEX

Para el proceso de coagulación del látex, inicialmente se debió de realizar varios ensayos en el laboratorio, con el fin de conocer el comportamiento de las vinazas al ser adicionadas al látex natural y con esto establecer cuál es el tratamiento que se le debe de realizar a las vinazas para poder ser utilizadas en campo y así lograr coagular el látex de manera eficiente.

5.1 Comportamiento del látex natural al adicionar vinazas como agente coagulante.

Inicialmente se realizó un primer ensayo para observar cómo se comporta el látex natural al adicionar vinazas a cinco concentraciones diferentes. Este procedimiento se realizó por duplicado, evaluando parámetros como tiempo de coagulación y aspecto físico. Los resultados se registran en la Tabla 9.

Tabla 9.

Comportamiento del látex al adicionar vinazas como agente coagulante

Concentración	Replica	Tiempo de coagulación (min)	Observaciones
C1 (20%)	1	+60	Superficie gris oscuro
	2	+60	Superficie gris oscuro
C2 (40%)	1	39	Superficie gris oscuro
	2	39	Superficie gris oscuro
C3 (60%)	1	6	Superficie gris oscuro
	2	6	Superficie gris oscuro
C4 (80%)	1	5	Superficie gris oscuro
	2	4	Superficie gris oscuro
C5 (100%)	1	3	Superficie gris oscuro, alta rigidez
	2	2	Superficie gris oscuro, alta rigidez

Nota. Esta tabla describe el aspecto de la chipa obtenida por la coagulación con vinazas a cinco concentraciones diferentes y el tiempo de coagulación.

A este primer ensayo se le realizó un seguimiento continuo la primera hora después de la aplicación de las vinazas para medir el tiempo de coagulación, posteriormente se dejó

en reposo 24 horas para observar el comportamiento físico de la chipa al estar expuesto al ambiente.

De los resultados obtenidos en el primer ensayo se concluye que, se debe definir rangos de operación, debido a que no presenta un comportamiento homogéneo al utilizar diferentes concentraciones.

En los resultados registrados en la Tabla 9 se evidencia que una elevada concentración de vinazas, aunque ocurre a menores tiempos genera un aumento en la rigidez del material, esto dificulta el procesamiento de la materia prima. Contrario, al producto resultante a bajas concentraciones, estos se demoran más de una hora y el producto resultante es muy flexible lo que puede ocasionar una disminución significativa en las propiedades fisicoquímicas del caucho seco

En todas las muestras realizadas se observa que, pasadas las 24 horas, la superficie de la chipa tiene un color gris, debido a la oxidación del material al ser expuesto al ambiente, mientras que en la base del coágulo se observa el color tradicional del látex (entre blanco y amarillo pálido), también se encuentra en el fondo del recipiente un suero, el cual es producido por el proceso de separación de los componentes no caucho presentes en el látex.

5.2 Condiciones de operación para aplicación de vinazas en campo

Después de evaluar las condiciones a las cuales el látex es coagulado, se establece un rango de operación en las concentraciones de las vinazas para poder ser aplicadas en campo y con este producto resultante poder evaluar las propiedades fisicoquímicas del caucho natural obtenido.

Se realiza un segundo ensayo en laboratorio, nuevamente por duplicado, pero eliminando las concentraciones consideradas ineficientes para el proceso y a partir de los resultados obtenidos escoger tres condiciones para ser aplicadas en campo. En este nuevo ensayo se evalúa nuevamente el tiempo de coagulación y aspectos físicos de la chipa resultante, adicionalmente se realiza una coagulación con ácido fórmico para

comparar el comportamiento y tiempo de coagulación del ácido fórmico utilizado tradicionalmente por la empresa Mavalle respecto a las vinazas

Los datos obtenidos se registran en la Tabla 10.

Tabla 10.

Comportamiento del látex al adicionar vinazas como agente coagulante

Concentración	Replica	Tiempo de coagulación (min)	Observaciones
C1 (50%)	1	3	Superficie gris oscuro
	2	4	Superficie gris oscuro
C2 (55%)	1	4	Superficie gris oscuro
	2	3	Superficie gris oscuro
C3 (60%)	1	3	Superficie gris oscuro
	2	2	Superficie gris oscuro
C4 (65%)	1	2	Superficie gris oscuro
	2	3	Superficie gris oscuro
C5 (70%)	1	3	Superficie gris oscuro
	2	2	Superficie gris oscuro
A.F.	1	15	Superficie Blanca
	2	14	Superficie Blanca

Nota. Esta tabla presenta el tiempo de coagulación y aspecto físico a diferentes concentraciones de vinazas respecto al ácido fórmico usado tradicionalmente.

Al comparar la coagulación con ácido fórmico respecto a las vinazas se evidencia que el tiempo del proceso con el ácido fórmico es mayor, también el aspecto físico de la chipa al utilizar ácido es diferente, ya que esta conserva el color blanco natural del látex aun al estar expuesto al ambiente, nuevamente se observa como residuo en todas las muestras un suero incluyendo la que fue coagulada con ácido fórmico.

Al realizar estos ensayos de laboratorio se definen las condiciones de aplicación de las vinazas en campo para con estas evaluar las propiedades fisicoquímicas del caucho

obtenido y adicionalmente establecer qué tipo de tratamiento debe ser aplicado a las vinazas para ser utilizadas en el proceso de coagulación.

5.3 Tratamiento para el uso de vinazas en la coagulación del látex

Las vinazas son un residuo industrial generado por la producción de etanol a partir de la caña de azúcar, el cual es tratado para ser usado como fertilizante. Para los ensayos de laboratorio las vinazas obtenidas no fueron sometidas a un tratamiento previo, su concentración y naturaleza se usaron al 100% como resultan del proceso de destilación.

Posteriormente a los ensayos de coagulación realizados en el laboratorio y después de evaluar el comportamiento del látex con esta sustancia, el tratamiento al cual se debe someter esta sustancia es dilución con agua. Este proceso facilita y hasta cierto punto garantiza la coagulación del látex en periodos de tiempo cortos o largos, según sea el interés y la finalidad de quien las aplique.

El proceso de dilución también afecta las propiedades físicas del caucho resultante, al ser utilizadas sin diluir se observa que el caucho obtenido es más rígido y de difícil manejo para ser implementado en el proceso de crepado, esto puede ocasionar atascamientos en la máquina o al momento de compactación esta se dificulta y no pueda ser laminada la muestra. Contrario, a las muestras obtenidas del látex coagulado con vinazas diluidas, la chipa resultante presenta fácil manejo y menor rigidez, por lo cual no presenta dificultades al pasar por el proceso de crepado.

5.4 Muestreo en campo con vinazas

Después de haber realizado las pruebas en el laboratorio y haber establecido en qué condiciones o rangos de concentración deben ser aplicadas las vinazas, se seleccionan 3 concentraciones diferentes para realizar los ensayos en campo (Figura 19.) y obtener el producto que será utilizado para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del caucho natural al ser coagulado con vinazas.

Figura 9.

Marcación en campo de los árboles para ensayo a diferentes concentraciones de vinazas.



Nota. Se presenta la disposición en campo para la coagulación a diferentes concentraciones de vinazas y la concentración de referencia con ácido fórmico.

5.4.1 Aplicación de vinazas en campo

Para la aplicación de vinazas en campo (Figura 20.) se establecieron 3 réplicas por concentración, adicionalmente se realizó una muestra con ácido fórmico para comparar los resultados obtenidos de las dos sustancias a las mismas condiciones. Para ello se fijaron 3 fechas de aplicación de vinazas y una de recolección como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11.

Programación de muestreo en campo

Ensayo	Aplicación	Recolección	Clon	Cantidad de arboles	Cantidad de vinaza aprox. Por árbol (mL)
1	19/10/2021	29/10/2021	RRIM 600	80-90	20
2	23/10/2021	29/10/2021	RRIM 600	80-90	20
3	27/10/2021	29/10/2021	RRIM 600	80-90	20

Nota. Esta tabla muestra el cronograma de ensayos realizados en campo, la cantidad de árboles utilizados, el tipo de clon y la cantidad aproximada de vinazas diluidas utilizadas para la aplicación en cada árbol.

Figura 10.

Adición de vinazas en campo.



Nota. Se realiza la adición de las vinazas al látex recolectado en las tazas posterior al rayado del árbol.

5.4.2 Recolección del caucho

El caucho antes de su recolección se deja madurar en campo de dos a tres días con el fin de que sus características sean las más adecuadas para el proceso. El coágulo es recolectado en canecas separadas según su concentración como se observa en la Figura 21, de esta muestra se procede a recolectar una submuestra para evaluar las propiedades fisicoquímicas en el laboratorio.

Figura 11.

Caucho seco recolectado.



Nota. Se dispone el caucho coagulado en una caneca para dejar madurar por dos días.

6. PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL CAUCHO

Los procedimientos establecidos en este capítulo se basan en la norma ISO 2000:2014, la cual establece los lineamientos que se deben de seguir para las especificaciones del caucho técnicamente especificado (TSR). Para cada análisis se presenta la respectiva norma y una breve explicación del método aplicado a la empresa MAVALLE S.A.S.

6.1 Determinación del contenido de caucho seco (DRC)

Inicialmente el caucho pasa por un proceso de medición del contenido de caucho seco (DRC), este valor indica el porcentaje real de caucho que contiene la chipa (ecuaciones 1-3). Para ello se selecciona una muestra de cada ensayo realizado, esta muestra es pesada, posteriormente se lleva a proceso de crepado, nuevamente se pesa la muestra con el fin de obtener las pérdidas en el proceso, se cortan 4 muestras y finalmente estas muestras son secadas por 24 horas, las cuales serán pesadas nuevamente para así obtener el contenido de caucho seco del producto recolectado.

Ecuación 1.

$$\% \text{ de pérdida en crepado} = \frac{(m.a.c - m.d.c)}{m.a.c} * 100$$

Donde:

m.a.c = masa antes de crepar

m.d.c= masa después de crepar

Ecuación 2.

$$\text{masa muestra 1 sin crepar calculada} = \frac{\text{masa 1}}{\left(1 - \left(\frac{\% \text{ de pérdida en crepado}}{100}\right)\right)}$$

Ecuación 3.

$$\% \text{ de DRC muestra 1} = \frac{\text{masa seca 1}}{\text{masa muestra 1 sin crepar calculada}} * 100$$

El material resultante del crepado se corta en varias muestras para analizar los demás procedimientos como se observa en la Figura 22.

Figura 12.

Muestras de caucho crepado.



Nota. Estas muestras son el resultado de procesar la chipa de caucho en la crepadora.

6.2 Secado

Figura 13.

Secado de muestras.



Nota. Muestras de caucho crepado dispuestas en horno para secado.

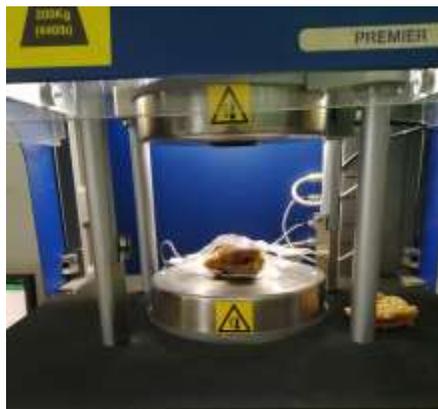
Las muestras que ya han sido crepadas y cortadas son llevadas a un proceso de secado. El proceso consiste en introducir la muestra en un horno a una temperatura entre 100 y 120 °C por un periodo de tiempo determinado (Figura 23). Para este proyecto se evaluarán las propiedades fisicoquímicas a dos temperaturas de secado diferente.

6.3 Viscosidad Mooney

Basado en la norma ISO 289-1: Cuando la muestra ya ha sido secada se debe cortar dos cuadros de 5x5 cm, los cuales se colocan en el viscosímetro para realizar la medición (Figura 24.). Una de las muestras es introducida en el rotor seguido de un papel que protege la base del equipo para evitar que la muestra se pegue en él, se introduce el rotor en el equipo, encima se pone la segunda muestra y posteriormente el papel de protección. Se inicia el programa ML (1+4) el cual consiste en estabilizar el equipo durante 1 minuto y realizar la medición de esta variable pasados 4 minutos. Finalizado el proceso se registra el valor en unidades Mooney y se continúa con la siguiente muestra.

Figura 14.

Medición de la Viscosidad Mooney.



Nota. Muestra para medición de Viscosidad Mooney.

Los datos obtenidos de este procedimiento se encuentran en el ANEXO 1.

6.4 Plasticidad

Basado en la norma ISO 2007: De la muestra secada se corta una parte para realizar el método de plasticidad. Este procedimiento consiste en pasar la muestra por el molino hasta disminuir su grosor y homogenizar. Esta debe ser troquelada para obtener las submuestras (Figura 25.) y a estas medirle la plasticidad en el Plastímetro Wallace.

Figura 15.

Muestras para plasticidad



Nota. Muestras para medición de plasticidad y PRI.

Los datos obtenidos de este procedimiento se encuentran en el ANEXO 2.

6.5 Índice de retención de plasticidad (PRI)

Basado en la norma ISO 2930: Para el cálculo del índice de retención de plasticidad, se debe realizar el mismo procedimiento que la plasticidad, pero antes de medir su valor en el Plastímetro, estas deben ingresar por 30 minutos a la cámara de envejecimiento a 140°C (Figura 26.) y posteriormente estar en reposo por 30 minutos más. Este procedimiento evalúa la resistencia del material a la oxidación con el paso del tiempo. Pasado el periodo de reposo se mide su valor y por medio de la ecuación 4, se obtiene el valor de PRI.

Los datos obtenidos de este procedimiento se encuentran en el ANEXO 3.

Ecuación 4. [29]

$$PRI = \frac{n_{envejecido}}{n_{sin\ envejecer}} * 100$$

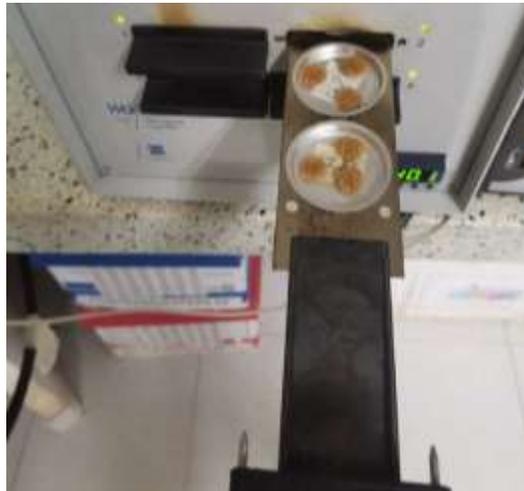
Donde:

$n_{envejecido}$ = Es el número de plasticidad rápida envejecida. P30

$n_{sin\ envejecer}$ = Es el número de plasticidad rápida sin envejecer. P0

Figura 16.

Ingreso de muestras a cámara de envejecimiento



Nota. Ingreso de muestras a cámara de envejecimiento para evaluar el PRI.

6.6 Cenizas

Basado en la norma ISO 247: Inicialmente se debe pesar un crisol vacío, posteriormente se toma una muestra de 5 gramos de caucho posterior al secado, esta se introduce en el crisol y es llevado a una mufla a una temperatura de 550°C durante una hora como se observa en la Figura 27, finalizado el proceso se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente. Se pesa nuevamente el crisol y por medio de la ecuación 5 se obtiene el valor de cenizas.

Figura 17.

Muestras en mufla.



Nota. Muestras de caucho dentro de la mufla para calcinación y posterior medición de cenizas.

Ecuación 5. [30]

$$z = \left[\frac{(m_2 - m_1)}{m_0} \right] * 100$$

Donde:

z = Contenido de cenizas

m_2 = masa en gramos del crisol con cenizas

m_1 = masa en gramos del crisol vacío.

m_0 = masa en gramos de la muestra.

Los datos obtenidos de este procedimiento se encuentran en el ANEXO 4.

6.7 Suciedad

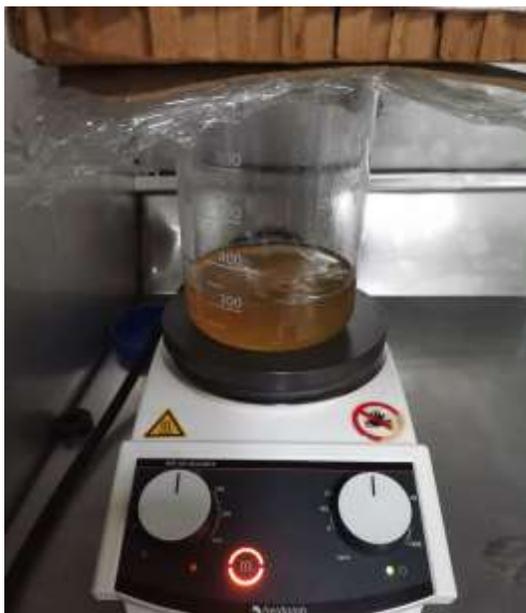
Basado en la norma ISO 249. El proceso consiste en tres pasos: disolución, filtración y secado.

6.7.1 Disolución

Se corta una muestra de 10 g y se pasa por molino hasta disminuir su grosor, después se corta en delgadas tiras y se introduce en un beaker, se adiciona peptizante y xileno, y se pone en agitación hasta total disolución como se muestra en la Figura 28.

Figura 18.

Muestra de suciedad



Nota. Disolución de caucho en xileno para medición de suciedad.

6.7.2 Filtración

Cuando ya se ha disuelto el caucho y la solución se observa homogénea, se retira de agitación y se lleva a filtración. Para este proceso se utiliza un filtro de malla anteriormente pesado, el cual se utiliza en el equipo de filtración por medio de una bomba de vacío, la solución se vierte dentro del tamiz con el fin de que, en este quede retenida

la suciedad que contiene el material, para finalizar se realiza un lavado del beaker con bencina para arrastrar cualquier impureza contenida y ser vertida dentro del tamiz.

6.7.3 Secado

Finalmente se retira y se limpia el exterior del tamiz para ser introducido en el horno por 30 minutos, de esta manera se elimina cualquier residuo de las sustancias químicas usadas o de caucho. Finalizado el tiempo de secado se retira del horno y se deja en reposo en un desecador, cuando el tamiz se ha enfriado se registra el nuevo peso y se procede a calcular el valor de suciedad por medio de la ecuación 6.

Ecuación 6. [31]

$$D = \left[\frac{(C - B)}{A} \right] * 100$$

Donde:

D = porcentaje de suciedad.

A = masa de la muestra

B = masa del tamiz limpio y seco

C = masa del tamiz con la suciedad

Los datos obtenidos de este procedimiento se encuentran en el ANEXO 4.

6.8 Volátiles

Basado en la norma ISO 248-1: Se corta una fracción de 10 g de la muestra inicial secada en horno, se pasa por el molino dos veces, se pone en un recipiente marcado y resistente a altas temperaturas y se introduce la muestra en el horno por un determinado tiempo, finalmente se deja enfriar en desecador por 30 minutos y se pesa la muestra. El cálculo del porcentaje de volátiles es calculado por medio de la ecuación 7.

Ecuación 7. [32]

$$w = \left[1 - \frac{(m_2 * m_4)}{(m_3 * m_1)} \right] * 100$$

Donde:

w = porcentaje de materia volátil

m_1 = masa de la fracción tomada de la bala de caucho.

m_2 = masa de la fracción después de la homogenización

m_3 = masa de la muestra antes del secado del horno

m_4 = masa de la muestra después del secado del horno

Los datos obtenidos de este procedimiento se encuentran en el ANEXO 4.

6.9 Contenido de nitrógeno

Basado en la norma ISO 1656: El procedimiento para la medición del contenido de nitrógeno cuenta con 3 partes: Digestión, Destilación y titulación.

6.9.1 Digestión

Para este proceso se toma una muestra de caucho, esta es cortada en trozos pequeños y agregada a un tubo para digestor, a este se adiciona el catalizador Kjeldahl y ácido sulfúrico, el tubo es introducido en el digestor y finalmente se inicia el proceso a temperaturas entre 350 y 380 °C por un periodo de tiempo como se observa en la Figura 29.

La finalidad de este proceso es romper los enlaces de nitrógeno y transformarlos en iones amonio (NH_4^+). “El carbono orgánico y el hidrógeno forman dióxido de carbono y agua. En este proceso la materia orgánica se carboniza dando lugar a la formación de una espuma negra, esta espuma se descompone y finalmente se convierte en un líquido claro que indica que la reacción química ha terminado” [24].

Figura 19.

Disolución de caucho en ácido fórmico para contenido de nitrógeno.



Nota. Digestión del caucho en ácido sulfúrico para cuantificación de nitrógeno en la muestra.

6.9.2 Destilación

Cuando el proceso de digestión ha finalizado y se ha dejado enfriar la muestra hasta temperatura ambiente, esta es llevada al destilador Kjeldahl (Figura 30.), en este equipo la muestra es neutralizada con hidróxido de sodio (figura 30), en el proceso los iones de amonio (NH_4^+) son transformados en amoniaco (NH_3), el cual es arrastrado al vaso receptor por medio de una corriente de vapor de agua. El vaso receptor contiene una solución absorbente para capturar el gas amoniaco disuelto, esta solución se encuentra al 2-4% de ácido bórico [24].

Figura 20.

Neutralización de solución resultante de la digestión.



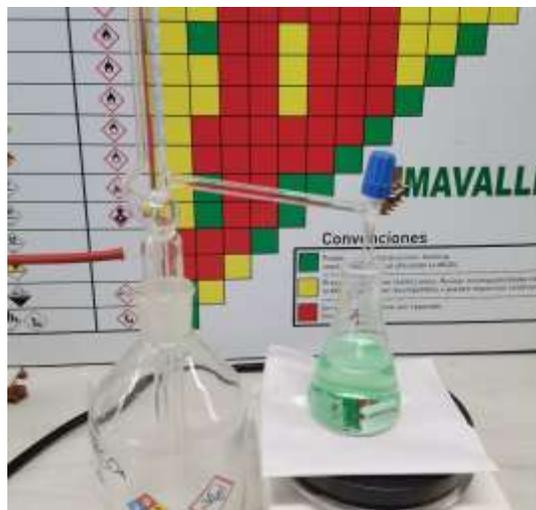
Nota. Neutralización con hidróxido de sodio de la muestra proveniente de la digestión.

6.9.3 Titulación

Para la titulación se utiliza una solución de ácido sulfúrico, el proceso consiste en adicionar lentamente la solución titulante a la solución absorbente resultante del proceso de destilación, la adición se detiene hasta la detección del punto final por medio de una valoración de colorimetría por medio de un indicador. En la Figura 31. se observa el proceso de titulación.

Figura 21.

Titulación del destilado



Nota. Titulación con ácido sulfúrico para cuantificación de nitrógeno presente en el caucho

Para calcular el contenido de nitrógeno se tiene la siguiente ecuación.

Ecuación 8. [33]

$$\text{Contenido de nitrógeno} = \frac{(V_3 - V_4) * c * 0,028}{m} * 100$$

Donde:

V_3 = es el volumen en centímetros cúbicos de la solución de ácido sulfúrico para la titulación de la muestra.

V_4 = es el volumen en centímetros cúbicos de la solución de ácido sulfúrico para la titulación del blanco.

C = es la concentración de la solución de ácido sulfúrico utilizada en la titulación.

m = es la masa de la muestra en gramos utilizada para el procedimiento.

7. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental (DOE) consiste en el planteamiento de los pasos que se deben seguir para la recolección y análisis de la información que se está estudiando basado en un problema de investigación. El objetivo es obtener el máximo de información requerida por el experimento con el mínimo costo y la máxima eficiencia. [25]

Para este proyecto se evalúa las propiedades fisicoquímicas del caucho seco al ser coagulado con vinazas. Para ello se considera la concentración de vinazas utilizadas en el proceso de coagulación y la temperatura de secado a la cual es sometida la muestra. Con las variables de operación definidas se propone un diseño factorial para el análisis de los resultados obtenidos en tres propiedades fisicoquímicas del caucho seco, las cuales son: Viscosidad Mooney, plasticidad e índice de retención. El diseño factorial se centra en estas características del material debido a la dependencia que tienen estas hacia la temperatura y la concentración de agente coagulante, los demás procedimientos se evaluarán de manera independiente.

Para el desarrollo de los 3 diseños experimentales se establece un margen de error del 5%.

A continuación, se establece la hipótesis nula y alternativa enfocado a las variables independientes (temperatura y concentración) y cómo afecta la interacción de estos factores entre sí.

$H_{01}: T_1=T_2$ No hay diferencias significativas entre las dos temperaturas.

$H_{i2}: T_1 \neq T_2$ Si hay diferencia significativa entre las dos temperaturas.

$H_{03}: C_1=C_2=C_3$ No hay diferencias significativas entre las tres concentraciones.

$H_{i4}: C_1 \neq C_2 \neq C_3$ Si hay diferencia significativa entre las tres concentraciones.

$H_{05}: T=C$ No hay diferencias significativas entre la temperatura y la concentración.

$H_{i6}: T \neq C$ Si hay diferencia significativa entre la temperatura y la concentración.

Para el análisis del diseño factorial se hicieron 3 réplicas y a estos se le realizó un análisis de varianza (ANOVA) por medio de Excel y con ayuda del software estadístico Minitab obtener las gráficas necesarias para su debida comparación.

7.1 Análisis de varianza

7.1.1 Viscosidad Mooney

La probabilidad para la temperatura se encuentra en 0,08, un valor superior al establecido en el diseño de experimentos con 0,05 máximo de error. Lo que se evidencia en los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio es que, al aumentar la temperatura, su Viscosidad Mooney disminuye, lo que produce en el material una disminución a la resistencia, al ser sometido a diferentes fuerzas. (El ANOVA se encuentra en el ANEXO 5).

7.1.2 Plasticidad

La probabilidad de este diseño se encuentra por debajo al establecido, lo que se interpreta como una variación casi nula entre los factores evaluados, no se observan variaciones significativas al modificar los rangos de concentración, ni los de temperatura y tampoco en la interacción de estos dos factores. (El ANOVA se encuentra en el ANEXO 6).

7.1.3 Índice de retención de plasticidad (PRI)

Al considerar la probabilidad obtenida en el ANOVA, el principal factor que interviene en la variación de los resultados del PRI es la temperatura. El aumento de temperatura produce una disminución en el índice de retención, lo que ocasiona que el material con el transcurso del tiempo presente menor resistencia a la oxidación. (El ANOVA se encuentra en el ANEXO 7).

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para los análisis de resultados se considera un cuarto ensayo realizado con ácido fórmico para comparar con los datos obtenidos de la variación de las concentraciones de vinazas.

8.1 Contenido de caucho seco (DRC)

Tabla 12.

Contenido de DRC en muestras de laboratorio

CONCENTRACION	DRC (% v/m)
C1 (60%)	53,48%
C2 (65%)	48,69%
C3 (70%)	55,20%
A.F.	55,89%

Nota. Resultados obtenidos de la medición del contenido de caucho seco.

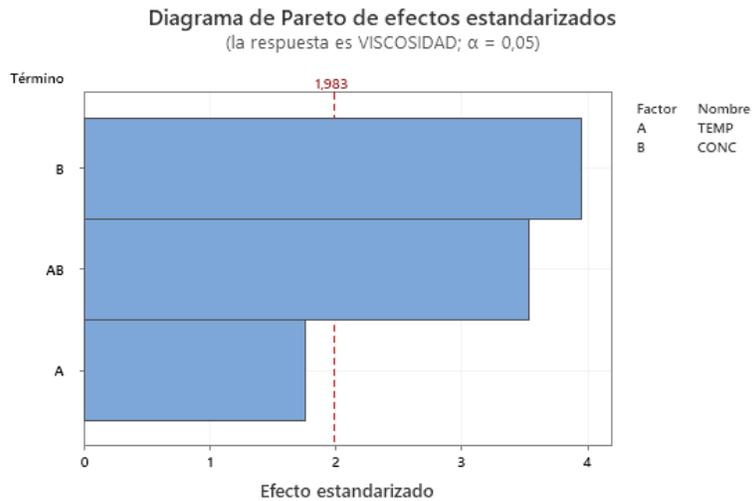
En la Tabla 12. Se registran los resultados obtenidos del contenido de caucho seco para las 3 concentraciones de vinazas y el ácido fórmico utilizadas en el ensayo. Para la cuantificación del contenido de caucho seco de las muestras recolectadas en campo, se calcula la media y la desviación estándar de los resultados obtenidos para evaluar la dispersión de los resultados entre sí. Los resultados de estas variables son 53,32% y 0,03 para la media y la desviación estándar respectivamente, de estos se puede inferir que no hay una variabilidad significativa entre las dos sustancias evaluadas.

Este parámetro se ve influenciado por el tiempo de maduración al cual ha sido sometido el coágulo y la influencia del ambiente durante este periodo, ya que en épocas de lluvia la chipa está expuesta a absorber mayor cantidad de agua y ralentizar su proceso de maduración.

8.2 Viscosidad Mooney

Figura 22.

Diagrama de Pareto para Viscosidad Mooney

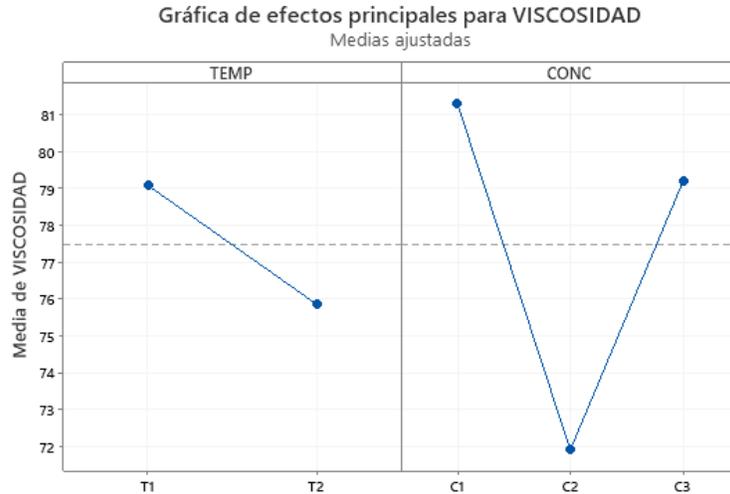


Nota. Diagrama comparativo de la variación de la concentración, temperatura y su interacción respecto a α en Viscosidad Mooney Tomado de: Minitab.

En el diagrama de Pareto para la viscosidad Mooney (Figura 32.) se observa que la temperatura y la interacción de la temperatura con la concentración presentan efectos significativos para la Viscosidad Mooney. Es decir que el cambio de estas variables influye en la Viscosidad Mooney del caucho seco.

Figura 23.

Gráfica de efectos principales para Viscosidad Mooney



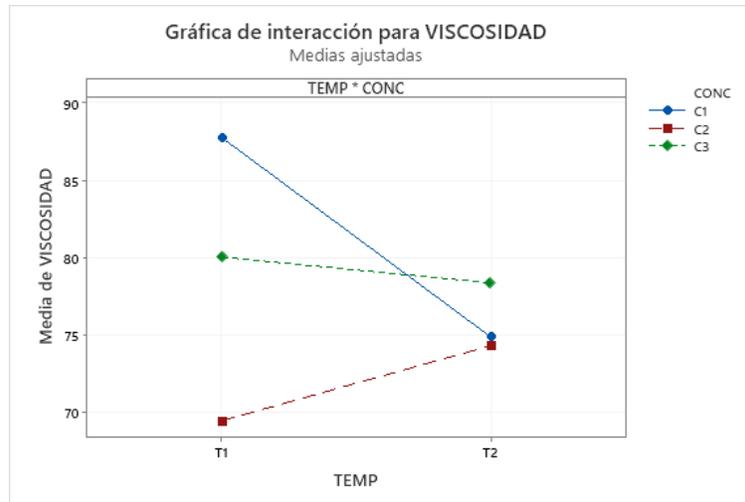
Nota. El grafico compara la variación independiente de cada uno de los factores para la evaluación de la Viscosidad Mooney Tomado de: Minitab.

En la gráfica de efectos principales para Viscosidad Mooney (Figura 33.) se realiza una evaluación independiente de los factores seleccionados para el estudio de las propiedades fisicoquímicas del caucho, en ella se evidencia el descenso de la Viscosidad Mooney al aumentar la temperatura de secado de la muestra, así como también la variación de esta propiedad con el cambio de la concentración.

Al secar la muestra a una temperatura relativamente baja se obtienen resultados elevados de Viscosidad Mooney, esto se debe al tiempo y condición del proceso. La muestra a 100°C debe estar más tiempo en el horno, lo que genera un proceso de secado lento y homogéneo en toda la superficie de la muestra. Diferente a la temperatura 2 de 120°C, esta al ser más elevada se expone a un menor tiempo de secado, pero con mayor degradación del caucho disminuyendo así su Viscosidad Mooney.

Figura 24.

Gráfica de interacción para Viscosidad Mooney



Nota. El gráfico compara la variación entre cada uno de los factores para la evaluación de la Viscosidad Mooney Tomado de: Minitab.

Al evaluar la Viscosidad Mooney por medio de la interacción de la concentración y la temperatura (Figura 32.) se puede establecer que:

- En C1 (60%) a menor concentración de vinaza el cambio de temperatura influye en mayor proporción en la variación del resultado, al aumentar la temperatura su Viscosidad Mooney disminuye.
- En C2 (65%) el cambio de temperatura no muestra una amplia diferencia, pero contrario a C1 al aumentar la temperatura la Viscosidad Mooney también aumenta.
- En C3 (70%) presenta un comportamiento más homogéneo frente a la variación de temperaturas y valores más cercanos a la media.

De lo anterior se puede inferir que, el aumento de concentración presenta una oposición a la variación de la Viscosidad Mooney resultante frente al cambio de temperatura

Tabla 13.*Comparación de concentración y temperatura para Viscosidad Mooney*

	Viscosidad Mooney (MU) (Secado a 100°C)				Viscosidad Mooney (MU) (Secado a 120°C)			
	C1 (60%)	C2 (65%)	C3 (70%)	AF	C1 (60%)	C2 (65%)	C3 (70%)	AF
Mínimo	60,78	57,59	50,71	57,62	50,51	54,35	60,75	52,82
Máximo	96,53	85,64	92,54	101,29	83,87	81,39	88,75	91,04
Promedio	87,74	69,49	80,04	86,96	74,89	74,33	78,38	81,02
Desviación	9,21	10,92	11,13	10,96	7,43	7,17	10,47	8,70

Nota. Esta tabla muestra la desviación estándar al variar las concentraciones y la temperatura para la Viscosidad Mooney.

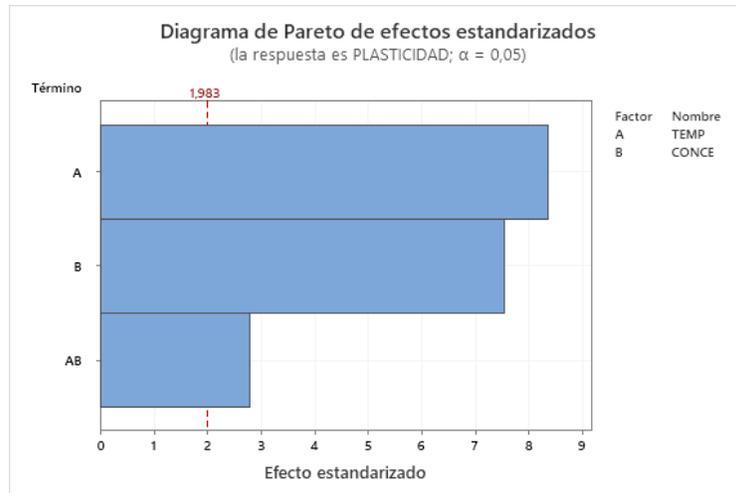
Basados en el valor de la desviación estándar del ácido fórmico y las diferentes concentraciones de vinazas que se registran en la Tabla 13., se observa que tiene un comportamiento similar en las dos temperaturas evaluadas. Es decir que para la Viscosidad Mooney no hay una diferencia significativa al coagular con cualquiera de las dos sustancias

8.3 Plasticidad

El diagrama de Pareto (Figura 35.) muestra que la concentración, la temperatura y la interacción de estos factores intervienen en el resultado obtenido de la plasticidad. Se observa mayor influencia en el resultado si se considera cada uno de los factores de manera independiente, la interacción entre la temperatura y la concentración influyen en menor proporción, de esto se puede establecer que la variación de estas propiedades anula en gran parte su variabilidad y proporciona datos más homogéneos entre sí.

Figura 25.

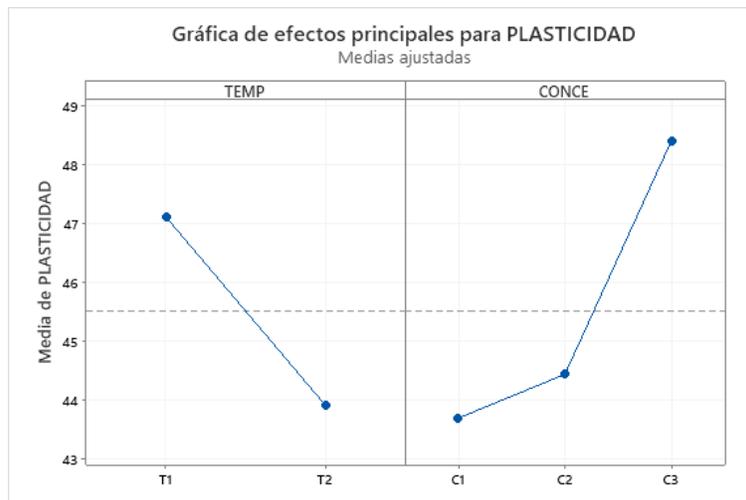
Diagrama de Pareto para plasticidad



Nota. Diagrama comparativo de la variación de la concentración, temperatura y su interacción respecto a α en plasticidad Tomado de: Minitab.

Figura 26.

Gráfica de efectos principales para plasticidad



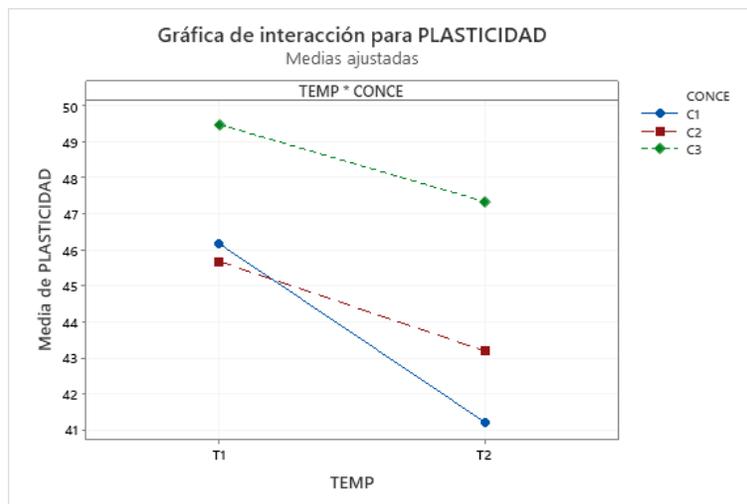
Nota. El grafico compara la variación independiente de cada uno de los factores para la evaluación de la plasticidad Tomado de: Minitab.

El aumento de la temperatura en el secado de la muestra afecta la calidad del producto; en la Figura 36. se observa como a la temperatura de 100°C se obtienen valores de plasticidad altos y conforme se aumenta la temperatura hasta 120°C estos resultados disminuyen. Esta propiedad se ve afectada ya que el aumento significativo de temperatura produce en el caucho una mayor degradación, ocasionando la disminución en la calidad del material.

La concentración presenta un comportamiento opuesto al de la temperatura, conforme la concentración aumenta los valores de plasticidad también van aumentando. Al incrementar la concentración de vinazas produce en la coagulación un mayor entrelazamiento de las moléculas, lo que vuelve el material más estable, rígido y resistente, evidenciándose en los valores resultantes de la plasticidad.

Figura 27.

Gráfica de interacción para plasticidad



Nota. El gráfico compara la variación entre cada uno de los factores para la evaluación de la plasticidad. Tomado de: Minitab

Basados en la Figura 37. Se infiere que la interacción entre estos dos factores se comporta similar en diferentes rangos de operación.

- En C1 (60%). Se presenta una disminución de la plasticidad al aumentar la temperatura, también se observan diferencias significativas para esta concentración.
- En C2 (65%). Estos valores son más elevados que en la primera concentración y presenta menor variación respecto a las diferentes temperaturas.
- En C3 (70%). Se observa un aumento en los valores de plasticidad y menor variación de los resultados respecto a las temperaturas

Se puede concluir que el aumento de la concentración de vinazas representa valores elevados en los resultados de la plasticidad.

Tabla 14.

Comparación de concentración y temperatura para plasticidad

	Plasticidad (Secado a 100°C)				Plasticidad (Secado a 120°C)			
	C1 (60%)	C2 (65%)	C3 (70%)	AF	C1 (60%)	C2 (65%)	C3 (70%)	AF
Mínimo	39,87	43,07	44,20	48,07	38,57	41,80	43,73	42,73
Máximo	52,67	48,83	53,23	60,47	43,93	44,73	51,43	55,03
Promedio	46,18	45,68	0,79	55,20	41,22	43,20	47,34	48,74
Desviación	2,43	1,53	3,02	3,95	1,59	0,93	1,71	3,46

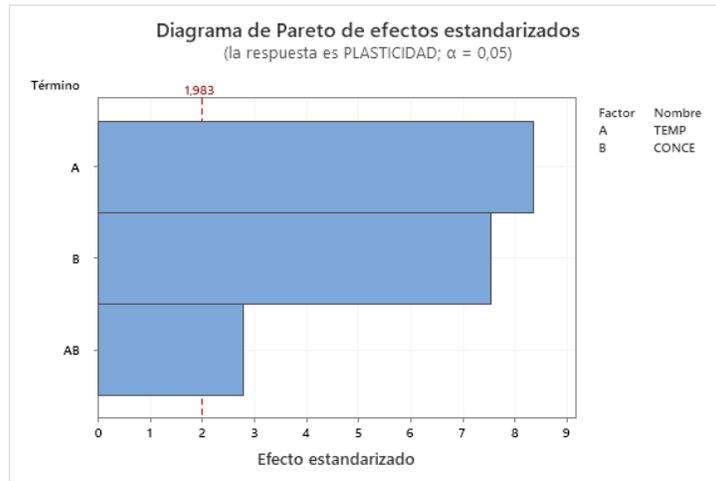
Nota. Esta tabla muestra la desviación estándar al cambio de las concentraciones y la temperatura para la plasticidad.

De la Tabla 14. se observa la diferencia entre cada una de las concentraciones de vinazas y el ácido fórmico, para esta variación la desviación estándar es de 1,01 a las dos temperaturas, lo que indica que la aplicación de vinazas y ácido a diferentes temperaturas tiene un comportamiento muy similar, los valores de plasticidad resultantes no tendrán un impacto relevante al ser evaluados con cualquiera de las dos sustancias.

8.4 Índice de retención de plasticidad

Figura 28.

Diagrama de Pareto para PRI

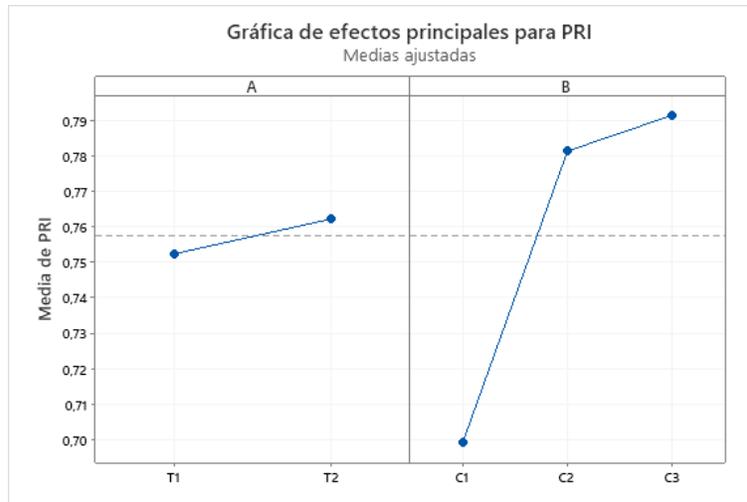


Nota. Diagrama comparativo de la variación de la concentración, temperatura y su interacción respecto a α en PRI Tomado de: Minitab.

En la Figura 38., la concentración es el factor que influye mayoritariamente en la obtención del índice de retención de plasticidad, representando una variación significativa en el proceso. A diferencia de este, la temperatura y la interacción entre los dos factores se encuentran dentro del margen de error establecido, ocasionando leves variaciones en el PRI.

Figura 29.

Gráfica de efectos principales para PRI



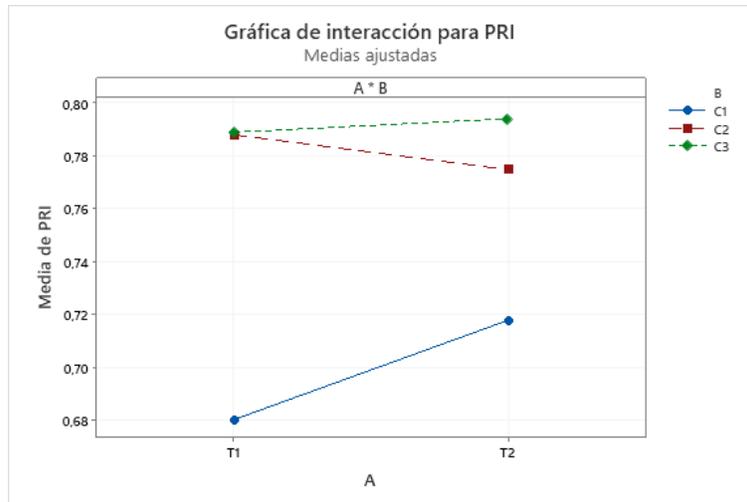
Nota. El grafico compara la variación independiente de cada uno de los factores para la evaluación del PRI. Tomado de: Minitab.

La variación de la temperatura del secado no muestra variaciones significativas, se observa en la Figura 39. un leve aumento del índice de retención plasticidad al aumentar la temperatura.

El índice de retención aumenta con respecto a la concentración de vinazas, es decir que, al aumentar la concentración de vinazas en el caucho, el material tendrá mayor duración y resistencia, ofreciendo una mayor resistencia a la oxidación.

Figura 30.

Gráfica de interacción para PRI



Nota. El gráfico compara la variación entre cada uno de los factores para la evaluación de la plasticidad. Tomado de: Minitab

De la Figura 40 se observa que existe una diferencia significativa entre la concentración 1 respecto a la concentración 2 y 3, donde:

- C1 (60%) presenta una elevada variación del índice de retención de plasticidad frente al aumento de temperaturas.
- C2 (65%) disminuye el PRI al aumentar la temperatura, pero no presenta diferencias relevantes para el proceso.
- C3 (70%) aumenta el PRI conforme se aumenta la temperatura, su comportamiento es homogéneo, no se observan diferencias significativas para el proceso.

De la gráfica se concluye que la estabilidad del PRI se ve influenciada por el aumento de la concentración de las vinazas en el caucho, es decir que a mayor concentración la variación de resultados disminuye frente al cambio de temperaturas.

Tabla 15.*Comparación de concentración y temperatura para PRI*

	PRI (Secado a 100°C)				PRI (Secado a 120°C)			
	C1 (60%)	C2 (65%)	C3 (70%)	AF	C1 (60%)	C2 (65%)	C3 (70%)	AF
Mínimo	0,60	0,70	0,71	0,67	0,64	0,72	0,72	0,64
Máximo	0,83	0,86	0,85	0,87	0,81	0,84	0,86	0,84
Promedio	0,68	0,79	0,79	0,76	0,72	0,77	0,79	0,75
Desviación	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,06

Nota. Esta tabla muestra la desviación estándar al cambio de las concentraciones y la temperatura para la plasticidad.

De la Tabla 15. Se observa que no existen diferencias significativas al comparar las concentraciones de vinazas frente al ácido fórmico, el valor de la desviación estándar para cada uno se encuentra por debajo del 6%, lo cual indica que los resultados obtenidos con las dos sustancias son muy similares y no hay una variación importante que afecte el PRI.

8.5 Suciedad, volátiles y cenizas

Para el análisis de estos parámetros no se tuvo en cuenta la variación de la temperatura ya que sus resultados no cambian ante una alteración física a la cual es sometida la muestra. Los resultados se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16.*Resultados para las pruebas de cenizas, volátiles y suciedad*

Ensayo	Suciedad (%m/m)	Volátiles (%m/v)	Cenizas (%m/m)
1	0,11	0,44	0,32
2	0,10	0,36	0,32
3	0,10	0,47	0,25
A. F	0,05	0,11	0,28

Nota. La tabla muestra el valor totalizado de cada una de las pruebas evaluadas.

La norma ISO 2000:2014 que estipula los parámetros máximos para la caracterización del caucho seco, establece que para el caucho natural técnicamente especificado grado 10 (producto de mayor comercialización de MAVALLE S.A.S) el valor máximo de suciedad es de 0,1, para volátiles no puede tener una pérdida superior al 0,8 y la diferencia de masa en cenizas no puede superar el 1%.

Al evaluar los resultados obtenidos, se observa que el látex al ser coagulado con vinazas cumple en su mayoría y satisfactoriamente con los parámetros establecidos en la norma. El primer ensayo de suciedad realizado supera la cantidad permitida de contaminación en el material, esto se puede presentar a algún tipo de contaminación ya sea durante la recolección, muestreo o análisis en el laboratorio, pero se puede llegar a corregir al aplicar más lavados a la muestra.

También se evidencia que los valores obtenidos para el ensayo de suciedad se encuentran muy cercanos al valor máximo permitido, al ser notorio esta condición en las 3 muestras se logra inferir que las vinazas pueden estar generando un aumento en esta propiedad, estas al ser un residuo industrial concentrado, sin ningún tratamiento previo, pueden contener una cantidad de sólidos suspendidos considerable, o algún tipo de residuo que pueda estar elevando este parámetro en el caucho seco. Referente a los resultados de volátiles y cenizas, estos obtuvieron valores dentro de lo establecido en la normal

Al comparar los resultados obtenidos de las vinazas con ácido fórmico se observa un aumento significativo entre la suciedad y el porcentaje de volátiles. Respecto a la suciedad esto se debe a que las vinazas contienen elevadas cargas de sustancias contaminantes, sólidos suspendidos, entre otros que produce el aumento de este factor en el caucho seco

8.6 Contenido de nitrógeno

De la misma manera que los procedimientos de suciedad, volátiles y cenizas; en el caucho hay un nivel máximo para el contenido de nitrógeno, por lo cual este valor no puede superar el 0,6%. Los resultados obtenidos se registran en la Tabla 17.

Tabla 17.

Resultados del contenido de nitrógeno

ENSAYO	RESULTADO
1	0,41%
2	0,45%
3	0,48%
A. F	0,22%

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de la evaluación del contenido de nitrógeno para cada ensayo.

Las cantidades de nitrógeno obtenidas en los ensayos de laboratorio para las 4 muestras evaluadas se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma ISO 2000:2014. Se logra observar que los valores resultantes son cercanos a los de las vinazas concentradas adicionalmente el contenido de nitrógeno de la muestra con ácido fórmico es la mitad de las otras concentraciones, esto se debe a que las vinazas contienen mayores porcentajes de nitrógeno, por lo que estos aumentan los resultantes en el caucho.

9. CONDICIONES E IMPACTOS EN LA APLICACIÓN DE VINAZAS COMO COAGULANTE DEL LÁTEX

9.1 Condiciones de aplicación

- Las vinazas utilizadas en el proceso de coagulación del látex pueden estar disueltas en agua. Para ello se debe considerar los resultados de las propiedades fisicoquímicas obtenidas en los ensayos de laboratorio, ya que el grado de concentración influye en factores como el tiempo de coagulación y propiedades como la Viscosidad Mooney.
- La cantidad de la solución de vinazas utilizada debe encontrarse entre el 8 y 12% de volumen aproximadamente del látex a coagular; esta cantidad influye en el proceso debido a que, al aplicar menores cantidades se presenta una coagulación parcial y el látex sobrante que no tuvo contacto con esta solución se coagula espontáneamente con el paso del tiempo.

9.2 Impactos de la aplicación de vinazas

- Las vinazas no representan un impacto significativo al momento de su aplicación en campo. Debido a la dilución previa al cual es sometida para poder ser aplicada, esta solución no afecta al trabajador que las manipula ya que es un residuo proveniente de un material natural como la caña de azúcar. Se deben considerar ciertas precauciones para su manipulación como, por ejemplo, el uso de guantes debido a la acidez de esta sustancia, pero, si no se utiliza el equipo de protección el trabajador tampoco se verá afectado ya que su olor es dulce, parecido a la melaza y no es una sustancia corrosiva o tóxica.
- Esta sustancia es aplicada al látex, por tal motivo no se tendrá una contaminación directa al suelo, se puede presentar algún tipo de derrame al momento de su aplicación ya sea directo o indirecto. En el caso de haber un derrame directo, el nivel de concentración será mínimo, ya que las vinazas se encuentran diluidas y la cantidad derramada al suelo será muy pequeña.
- Para el caso de un derrame indirecto el cual consiste en los lavados de la chipa o arrastre por aguas lluvias pueden llevar trazas de vinazas, las cuales representan un

valor mínimo de contaminación generando afectaciones insignificantes o simplemente no producen afectación alguna al medio en el cual son aplicadas.

- Se debe almacenar la sustancia concentrada en recipientes con su respectiva tapa y cerrados, lejos de Tomado des hídricas y en lugares de poca humedad, ya que estas contienen un alto contenido de sales, por lo que un derrame en cantidades elevadas al suelo o a Tomado des hídricas puede ocasionar sodicidad y salinidad en el suelo causando el deterioro severo de su estructura, fertilidad y porosidad. [34]
- Los resultados asociados a tratamientos biológicos coinciden con el potencial inhibitorio de algunos compuestos presentes en la vinaza. En consecuencia, es de interés diseñar un proceso de tratamiento eficaz para eliminar los efectos antimicrobianos ya que para la digestión anaerobia es necesaria una alta tasa de dilución con agua dulce para reducir este potencial de inhibición. [11]

10. CONCLUSIONES

El grado de concentración de vinazas influye de manera significativa en las propiedades fisicoquímicas referentes a Viscosidad Mooney, plasticidad e índice de retención de plasticidad. El comportamiento final para cada uno de estos factores es similar, ya que se obtiene que, al aumentar la concentración de vinazas, el valor de la Viscosidad Mooney, plasticidad y PRI aumentan proporcionalmente.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, realizados para las propiedades fisicoquímicas del caucho seco como Viscosidad Mooney, plasticidad y PRI; se concluye que el aumento de la temperatura presenta variaciones significativas en estas propiedades.

Los resultados obtenidos en los procesos desarrollados para la obtención de las propiedades fisicoquímicas del caucho seco se encuentran dentro de los rangos de clasificación de este material definidos por la norma ISO 2000:2014 (Anexo 8), la cual establece los valores máximos y mínimos que pueden obtener los diferentes grados de caucho, en las propiedades de plasticidad, PRI, cenizas, volátiles, suciedad y contenido de nitrógeno.

De los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se establecen rangos de concentraciones de vinazas elevadas (entre 60 y 70%) debido a la influencia de este parámetro en el tiempo de coagulación. Ya que, a mayor concentración, menor tiempo de coagulación, con un resultado máximo de 5 minutos, a diferencia de la aplicación de menores concentraciones, las cuales finalizaron el proceso entre 40 y 60 minutos. Se establecen menores tiempos de coagulación debido a las temporadas de lluvia, ya que, en estas épocas del año, al aplicar bajas concentraciones existe el riesgo de pérdidas de material en campo.

En los resultados registrados en la tabla 10 se evidencia que una elevada concentración de vinazas, aunque ocurre a menores tiempos genera un aumento en la rigidez del material, esto dificulta el procesamiento de la materia prima. Contrario, al producto

resultante a bajas concentraciones, estos se demoran más de una hora y el producto resultante es muy flexible lo que puede ocasionar una disminución significativa en las propiedades fisicoquímicas del caucho seco.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Mavalle | Líderes en producción de caucho natural". Mavalle. <https://www.mavalle.com> (accedido el 02 de septiembre de 2021).
- [2] D. E. Látex et al, "Elaboración de las curvas de secado de látex natural de campo y látex natural concentrado, en la determinación del contenido de hule seco (drc) y el contenido total de sólidos (tsc) en industrias,".
- [3] Compagnon, P., 1998)."El caucho natural, biología, cultivo, producción." Consejo Mexicano Del Hule Y CIRAD.México.
- [4] D. De Chazuta et al, "Universidad nacional de san martín -Tarapoto facultad de ingeniería agroindustrial escuela profesional de ingeniería agroindustrial tesis "preservación y caracterización fisicoquímica del látex natural del caucho (hevea brasiliensis) en el distrito de Chazuta región san martín," 2017
- [5] Anonymous "Industria hulera -materias primas -hule natural - plasticidad inicial Wallace e índice de retención de plasticidad -método de prueba rubber industry-raw materials-natural rubber - initial wallace and plasticity retention index -test method,"
- [6] F. Girardi, L. Marcelino and Gimenes, "Universidade estadual de maringá centro de tecnologia departamento de engenharia química programa de pós-graduação em engenharia química tratamento de vinhaça utilizando coagulantes naturais," 2004.
- [7] Anonymous "(12) solicitud internacional publicada en virtud del tratado de cooperación en materia de patentes (pct) (19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual,".
- [8] Anonymous "Evaluación de agentes de coagulación para la producción de láminas de caucho seco a partir de látex multiclonal de "hevea brasiliensis" investigadores Alejandra maría Giraldo Díaz paulina López Aristizábal universidad eafit escuela de ingeniería departamento de ingeniería de procesos Medellín," 2016.
- [9] Q. Iván y P. V. García, "Actividad del pH de la solución de ácido orgánico en la obtención de chipas de látex del caucho (hevea brasiliensis) en la parroquia patricia pilar," 2014.
- [10] Anonymous "Nota informativa sobre innovaciones en materia de productividad del sector septiembre 2016 /conadesuca1 /conadesuca CONADESUCA Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar,".

- [11] Becerra Ospina, N. L., .2014."Clarificación De Vinazas De Caña De Azúcar Por Tratamiento Fisicoquímico Y Filtración Con Membranas." 2014
- [12] Anonymous "diseño básico de una planta procesadora de látex de caucho natural para diferentes capacidades de producción Adriana milena Andrade caballero Ludy andrea Prada Ardila universidad industrial de Santander facultad de ingenierías físico-químicas escuela de ingeniería química Bucaramanga," 2005.
- [13] Prado, J., (Nov 19,2014)."El fallecimiento del Dr. Odriozola." Anales De La Facultad De Medicina (Lima, Perú: 1990). DOI: 10.15381/anales. v7i2.10352.
- [14] Anonymous "materiales de uso tecnico_plasticos,". IES Villalba Hervas.
- [15] Caldera Villalobos, M. and A. M. Herrera González, (Apr 09,2019)."Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares." Educación Química. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2019000200002&lng=en&tlng=en
- [16] Quimitube.com. 2012. Polímeros de adición: el caucho natural y el caucho sintético | Quimitube. [online] Available at: <<https://www.quimitube.com/polimeros-de-adicion-el-caucho-natural-y-el-caucho-sintetico/>> [Accessed 21 October 2021].
- [17] Javier Valdés Gómez. (2019, 2 de mayo). Qué es un Polímero. Clasificación, estructura, ejemplos y procesos de polimerización [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=dfnCKYCWqi0>
- [18] Tecnologiadelosplasticos.blogspot.com. 2011. Poliisopreno (Caucho natural y sintético). [online] Available at: <<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/poliisopreno-caucho-natural-y-sintetico.html>> [Accessed 22 October 2021].
- [19] Mansilla, Marcela Angela. (2012). Influencia de la microestructura en las propiedades mecánicas y térmicas de mezclas de caucho natural y caucho estireno butadieno. (Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5117_Mansilla.
- [20] F. V. Billmeyer, Ciencia de los polímeros. Barcelona Espanha: Reverte, 1978.

- [21] F. López-Serrano and E. Mendizábal, "Introducción a la ciencia de los polímeros Selective Drug Delivery Systems View project Understanding/modeling the Pickering emulsion polymerization SiO₂-supported View project," 2015.
- [22] Ácidos. 2017. ÁCIDO FÓRMICO» Conoce Dónde Se Encuentra, Propiedades Y Usos. [online] Available at: <<https://acidos.info/formico/>> [Accessed 27 October 2021].
- [23] Bolívar, G., 2021. Ácido fórmico (HCOOH): estructura, propiedades, usos, y reacciones. [online] Lifeder. Available at: <<https://www.lifeder.com/acido-formico/>> [Accessed 27 October 2021].
- [24] Anonymous "Determinación de Nitrógeno por el método Kjeldahl,"
- [25] S. Fernández and B. Director, "DISEÑO DE EXPERIMENTOS: DISEÑO FACTORIAL Memoria y Anexos Autor,".
- [26] J. D. León (Conversación privada), 2021.
- [27] Plantación Mavalle, 2021. [online]. Available <[Via Plantación Mavalle - Remolinos - Google Maps](#)>
- [28] Organización Internacional de Normalización. (2014). *Natural rubber latex concéntrate – Determination of dry rubber content..* (ISO 126)
- [29] Organización Internacional de Normalización. (2014). *Rubber, raw natural – Determination of plasticity retention index (PRI).* (ISO 2930)
- [30] Organización Internacional de Normalización. (2014). *Rubber – Determination of ash.* (ISO 247)
- [31] Organización Internacional de Normalización. (2014). *Rubber, raw natural – Determination of dirt content.* (ISO 249)
- [32] Organización Internacional de Normalización. (2014). *Rubber, raw– Determination of volatile- matter content- Part 1: Hot- mill method and oven method.* (ISO 248-1)
- [33] Organización Internacional de Normalización. (2014). *Rubber, raw natural, and rubber latex, natural – Determination of nitrogen content.* (ISO 1656)
- [34] Rodríguez Cortez A., "Benemérita Universidad Autónoma de Puebla -facultad de ingeniería química tesis "Fermentación anaerobia de la vinaza mezcalera para la obtención de productos de valor industrial" 2016.

GLOSARIO

Bala de caucho. Es el bloque de materia prima resultante de la compactación del caucho triturado para comercialización o transporte.

Caucho natural. Caucho obtenido naturalmente del árbol *Hevea brasiliensis*

Caucho seco. Es el caucho resultante del proceso de maduración por un determinado tiempo o aquel que es expuesto a altas temperaturas con el fin de reducir su contenido de humedad.

Chipa. También conocido como coagulo de caucho. Es el material solido resultante del proceso de coagulación del látex.

Envejecimiento. Es el cambio irreversible de las propiedades del material al estar expuesto a un determinado ambiente.

Laminado. Es el proceso de compactación del caucho triturado en un espesor inferior a su longitud.

Maduración. Es el almacenamiento controlado del caucho antes de su procesamiento.

Peptizante. Ingrediente compuesto de caucho utilizado para acelerar el proceso de dilución del caucho en un solvente.

Sangrado, rayado o pica. Proceso de extracción del látex por medio de un corte realizado a la corteza del árbol.

Suero. Residuo liquido resultante de la coagulación del caucho.

ANEXOS

ANEXO 1.

TABLA DE RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE VISCOSIDAD MOONEY

	Viscosidad Mooney (MU) (Secado 100°C)				Viscosidad Mooney (MU) (Secado a 120°C)			
	60%	65%	70%	AF	60%	65%	70%	AF
Ensayo 1	90,98	60,25	78,63	83,97	75,83	75,78	88,75	80,46
	93,15	79,40	77,79	97,91	75,51	79,95	87,18	91,04
	88,07	66,60	78,75	97,20	61,79	54,35	86,61	84,97
	90,93	60,68	72,35	72,17	83,87	76,56	75,99	82,46
	91,44	59,08	50,71	85,39	77,87	79,17	85,28	73,71
	93,01	59,60	70,56	97,74	77,51	76,85	67,87	52,82
Ensayo 2	92,85	62,84	89,16	57,62	79,00	75,77	83,25	86,04
	69,36	62,47	90,42	72,97	75,95	76,66	84,04	85,75
	92,07	64,65	91,53	101,29	79,68	63,28	60,75	89,76
	93,92	59,50	92,39	95,92	74,16	75,34	66,70	87,91
	93,59	57,59	92,54	93,16	77,12	73,47	83,38	87,60
	94,45	60,15	91,86	94,47	74,52	77,02	65,77	87,10
Ensayo 3	96,53	81,72	92,06	83,93	77,19	79,60	87,30	80,71
	83,11	81,67	73,23	86,35	75,35	79,23	86,64	76,61
	60,78	81,87	73,79	87,90	77,63	81,39	62,59	79,40
	86,46	84,24	77,41	84,41	78,79	61,81	87,26	75,60
	84,20	82,83	73,91	89,34	75,65	77,33	87,34	79,30
	84,45	85,64	73,58	83,57	50,51	74,35	64,05	77,20

ANEXO 2.

TABLA DE RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE PLASTICIDAD

Plasticidad (Secado a 100°C)				Plasticidad (Secado a 120 °C)			
60%	65%	70%	A.F	60%	65%	70%	A.F
47,20	43,30	53,23	59,73	39,10	43,30	45,90	46,57
46,83	46,13	52,23	59,00	41,50	43,77	46,83	50,83
45,03	45,47	50,67	60,47	42,10	42,50	51,43	52,13
46,50	44,77	51,80	58,83	42,03	42,27	46,57	52,10
45,10	46,57	44,40	53,27	43,20	42,27	47,50	54,00
44,67	44,70	44,20	48,07	40,50	43,17	47,63	55,03
44,93	44,40	51,80	53,13	43,93	44,23	45,83	50,43
46,93	48,83	44,73	52,73	42,10	44,73	46,40	47,87
46,57	45,20	52,30	52,70	38,57	42,47	47,73	49,53
46,73	48,57	51,83	58,80	42,90	42,10	45,63	49,13
52,67	46,10	47,53	58,83	41,00	41,80	48,30	50,00
48,67	43,07	51,07	53,63	40,23	42,50	43,73	45,13
44,83	45,27	52,80	51,63	41,63	44,50	48,07	44,67
45,40	46,27	49,03	59,07	39,17	44,03	48,90	42,73
39,87	46,37	49,17	48,97	40,50	43,13	48,33	48,70
46,90	47,23	47,57	57,93	40,83	44,50	46,43	43,27
46,13	44,97	46,30	55,57	43,40	43,67	49,53	47,13
46,20	45,10	50,07	51,23	39,23	42,60	47,40	48,07

ANEXO 3.

TABLA DE RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE PRI

PRI (Secado a 100°C)				PRI (Secado a 120°C)			
60%	65%	70%	A.F	60%	65%	70%	A.F
60,40%	82,90%	73,50%	72,90%	74,10%	72,10%	81,00%	82,10%
59,70%	77,20%	75,40%	74,20%	73,70%	77,20%	80,00%	69,50%
71,80%	81,70%	78,10%	73,30%	71,40%	77,60%	71,80%	68,80%
69,50%	79,80%	76,30%	70,50%	68,20%	80,80%	78,70%	68,80%
66,40%	79,80%	83,30%	77,10%	64,40%	77,70%	78,50%	64,20%
66,40%	79,60%	85,40%	82,00%	68,20%	77,80%	76,80%	67,20%
66,70%	82,50%	76,50%	75,10%	68,10%	77,50%	81,80%	74,30%
66,00%	76,80%	84,80%	76,00%	72,10%	78,30%	84,70%	71,50%
64,40%	79,10%	71,40%	80,10%	73,40%	83,80%	80,00%	74,20%
83,10%	69,50%	72,70%	70,50%	70,20%	82,80%	85,50%	72,90%
67,00%	76,50%	84,20%	71,30%	69,60%	73,90%	75,10%	75,20%
67,80%	83,40%	75,60%	79,40%	74,70%	76,90%	85,30%	84,30%
73,00%	86,40%	72,90%	79,60%	67,90%	73,30%	78,80%	81,60%
63,70%	75,70%	83,10%	71,80%	80,80%	75,80%	80,90%	84,30%
80,10%	75,30%	79,90%	84,10%	74,10%	78,90%	76,60%	71,30%
63,20%	73,50%	83,80%	67,20%	74,50%	73,40%	79,80%	82,70%
70,20%	80,60%	83,80%	75,90%	71,30%	76,80%	75,20%	79,00%
65,20%	78,00%	79,30%	86,80%	75,50%	80,00%	78,80%	78,80%

ANEXO 4.

RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS EN VISCOSIDAD, PLASTICIDAD Y PRI
DEL CAUCHO SECO COAGULADO CON VINAZAS

	Secado a 100 °C				Secado a 120 °C			
Viscosidad Mooney (MU)								
Concentración	60%	65%	70%	A.F.	60%	65%	70%	A.F.
Mínimo	60,8	57,6	50,7	57,6	50,5	54,4	60,8	52,8
Máximo	96,5	85,6	92,5	101	83,9	81,4	88,8	91
Promedio	87,7	69,5	80	87	74,9	74,3	78,4	81
Desviación	9,21	10,9	11,1	11	7,43	7,17	10,5	8,7
Plasticidad								
Concentración	60%	65%	70%	A.F.	60%	65%	70%	A.F.
Mínimo	39,9	43,1	44,2	48,1	38,6	41,8	43,7	42,7
Máximo	52,7	48,8	53,2	60,5	43,9	44,7	51,4	55
Promedio	46,2	45,7	0,79	55,2	41,2	43,2	47,3	48,7
Desviación	2,43	1,53	3,02	3,95	1,59	0,93	1,71	3,46
Índice de retención de plasticidad (PRI)								
Concentración	60%	65%	70%	A.F.	60%	65%	70%	A.F.
Mínimo	0,6	0,7	0,71	0,67	0,64	0,72	0,72	0,64
Máximo	0,83	0,86	0,85	0,87	0,81	0,84	0,86	0,84
Promedio	0,68	0,79	0,79	0,76	0,72	0,77	0,79	0,75
Desviación	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,06

ANEXO 5.

*RESULTADOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SUCIEDAD, CENIZAS Y VOLÁTILES

	Volátiles				Cenizas			Suciedad		
	Masa AC	Masa DC	M Inicial	M final	M muestra	M Crisol vacío	M crisol + cenizas	M muestra	M tamiz inicial	M tamiz final
Ensayo 1	45,60	45,60	10,30	10,25	5,23	21,90	21,92	10,83	57,90	57,91
	32,00	32,00	10,46	10,40	5,38	17,41	17,43			
	39,80	39,80	10,17	10,13	5,86	22,99	23,01			
	35,10	35,10	10,79	10,74	5,38	17,97	17,99			
Ensayo 2	45,60	45,60	10,19	10,16	5,26	22,99	23,01	10,57	56,37	56,38
	32,00	32,00	10,38	10,34	5,59	17,97	17,99			
	39,80	39,80	10,12	10,08	5,26	21,90	21,92			
	35,10	35,10	10,21	10,17	5,08	17,41	17,43			
Ensayo 3	45,60	45,60	10,50	10,45	5,53	17,63	17,64	10,67	58,11	58,12
	32,00	32,00	10,68	10,64	5,02	17,83	17,84			
	39,80	39,80	10,49	10,43	5,73	21,11	21,12			
	35,10	35,10	10,70	10,64	5,14	18,28	18,30			
A.F	457,30	457,20	10,10	10,09	5,31	18,29	18,30	10,73	54,49	54,50
	435,70	435,50	10,50	10,49	5,41	21,90	21,92			
	437,10	437,00	10,92	10,91	5,33	18,41	18,42			
	483,90	483,80	10,48	10,47	5,65	17,41	17,43			

*Los resultados obtenidos en los ensayos son promediados, este resultado final es el valor registrado en los análisis.

ANEXO 6.

**TABLA DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS RESULTADOS DE VISCOSIDAD
MOONEY**

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	100°C	120°C	Total
60%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	1579,35	1347,93	2927,28
Promedio	87,74	74,89	81,31
Varianza	84,83	55,24	110,54
65%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	1250,78	1337,91	2588,69
Promedio	69,49	74,33	71,91
Varianza	119,34	51,39	88,95
70%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	1440,67	1410,75	2851,42
Promedio	80,04	78,38	79,21
Varianza	123,86	109,71	114,16
Total			
Cuenta	54,00	54,00	
Suma	4270,80	4096,59	
Promedio	79,09	75,86	
Varianza	162,26	72,66	

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Concentración	1753,94	2,00	876,97	9,67	0,00	3,09
Temperatura	281,01	1,00	281,01	3,10	0,08	3,93
Interacción	1442,38	2,00	721,19	7,95	0,00	3,09
Dentro del grupo	9254,31	102,00	90,73			
Total	12731,64	107,00				

ANEXO 7.

TABLA DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS RESULTADOS DE PLASTICIDAD

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	100°C	120°C	Total
60%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	831,16	741,92	1573,08
Promedio	46,18	41,22	43,70
Varianza	5,88	2,54	10,41
65%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	822,32	777,54	1599,86
Promedio	45,68	43,20	44,44
Varianza	2,34	0,87	3,15
70%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	890,73	852,14	1742,87
Promedio	49,49	47,34	48,41
Varianza	9,13	2,91	7,03
Total			
Cuenta	54,00	54,00	
Suma	2544,21	2371,60	
Promedio	47,12	43,92	
Varianza	8,47	8,66	

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Concentración	462,94	2,00	231,47	58,63	0,00	3,09
Temperatura	275,87	1,00	275,87	69,88	0,00	3,93
Interacción	42,41	2,00	21,21	5,37	0,01	3,09
Dentro del grupo	402,67	102,00	3,95			
Total	1183,90	107,00				

ANEXO 8.

TABLA DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS RESULTADOS DE PRI

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	100°C	120°C	Total
60%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	12,25	12,92	25,17
Promedio	0,68	0,72	0,70
Varianza	0,00	0,00	0,00
65%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	14,18	13,95	28,13
Promedio	0,79	0,77	0,78
Varianza	0,00	0,00	0,00
70%			
Cuenta	18,00	18,00	36,00
Suma	14,20	14,29	28,49
Promedio	0,79	0,79	0,79
Varianza	0,00	0,00	0,00
Total			
Cuenta	54,00	54,00	
Suma	40,63	41,16	
Promedio	0,75	0,76	
Varianza	0,01	0,00	

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Concentración	0,18	2,00	0,09	49,17	0,00	3,09
Temperatura	0,00	1,00	0,00	1,39	0,24	3,93
Interacción	0,01	2,00	0,01	3,16	0,05	3,09
Dentro del grupo	0,19	102,00	0,00			
Total	0,39	107,00				

ANEXO 9.

ESPECIFICACIONES DEL CAUCHO SEGÚN LA NORMA ISO 2000:2014

Característica	Límites para clase de caucho					Método de prueba
	5L	5	10	20	50	
	Código de colores					
	Verde	Verde	Café	Rojo	Amarillo	
Contenido de impurezas, % (dm) retenidos en tamiz de apertura de 45µm, Max.	0,05	0,05	0,10	0,20	0,50	ISO 249
Plasticidad inicial, min.	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	ISO 2007
Índice de retención de plasticidad, min.	60,00	60,00	50,00	40,00	30,00	ISO 2930
Contenido de nitrógeno, % (dm) Max.	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	ISO 1656
Contenido en materias volátiles, % (dm) Max.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ISO 248 Método por secado a 100 °C
Grado de cenizas, % (dm), Max.	0,60	0,60	0,75	1,00	1,00	ISO 247
Índice de color, Max.	6,00					ISO 4660

Nota. La tabla muestra las especificaciones mínimas y máximas que deben cumplir algunas propiedades fisicoquímicas del caucho natural. Tomado de: Compagnon, P., 1998). "El caucho natural, biología, cultivo, producción." *Consejo Mexicano Del Hule Y CIRAD.México.*

ANEXO 10.

RECOMENDACIONES

Realizar una filtración a las vinazas para disminuir la cantidad de material contaminante o partículas sólidas que esta sustancia pueda contener y evaluar la suciedad con el caucho seco coagulado con la solución filtrada.

Evaluar el comportamiento del látex coagulado con mezclas de ácido fórmico y vinazas.

Realizar pruebas en planta de proceso para estudiar el comportamiento del material durante la línea de producción de caucho técnicamente especificado y adicionalmente evaluar las propiedades fisicoquímicas del caucho resultante.

Estudiar el grado de acidez de las vinazas y de qué manera influye el grado de fermentación que la sustancia pueda presentar al evaluar las propiedades fisicoquímicas del caucho seco.

Estudiar la carga microbiana que compone las vinazas y como esta puede llegar a influir en el proceso de coagulación o en la evaluación de las propiedades fisicoquímicas.