



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX
DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA
OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S. A.**

Karla Marisol Marroquín de León

Asesorado por el Ing. Allan Emilio Maldonado Cordón

Coasesorado por el Ing. Edwin José Saravia Cano

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX
DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA
OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KARLA MARISOL MARROQUÍN DE LEÓN

ASESORADO POR EL ING. ALLAN EMILIO MALDONADO CORDÓN
COASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSÉ SARAVIA CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX
DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA
OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de noviembre de 2014.



Karla Marisol Marroquín de León

Guatemala, Julio 2015

Ingeniero
Víctor Monzón
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetado Ing. Víctor Monzón:

Por medio de la presente hago constar que he revisado y dado mi aprobación del informe final de EPS titulado **"ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S.A."** de la estudiante de Ingeniería Química Karla Marisol Marroquín de León quien se identifica con el carné número 2010-20386

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,


Allan Emilio Maldonado Córdón
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1490
Ing. Qco. Allan Emilio Maldonado Córdón
Colegiado No. 1490
Asesor



Guatemala, 06 de julio de 2015.
Ref.EPS.DOC.436.07.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Karla Marisol Marroquín de León** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201020386**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S. A."**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Miguel Lemus
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
ML/ra



Guatemala, 06 de julio de 2015.
Ref.EPS.D.308.07.15.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

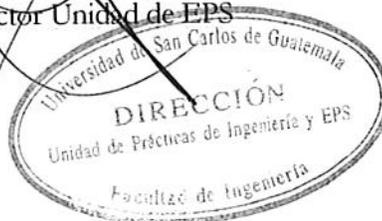
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DEL LÁTEX DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S. A."** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Karla Marisol Marroquín de León, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Ing. Miguel Lemus.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



Guatemala, 24 de julio de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.040.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **090-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Karla Marisol Marroquín de León**.
Identificada con número de carné: **2010-20386**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICA DEL LÁTEX DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPICIFICACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S.A.

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Allan Emilio Maldonado Córdón**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Cesar Ariel Vitella Rodas
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.120.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **KARLA MARISOL MARROQUÍN DE LEÓN** titulado: **"ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX, S.A."** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, agosto de 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTANDARIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LÁTEX DE CAMPO PREVIO AL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DE LÁTEX CONCENTRADO CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES, EN INDUSTRIAS DE LÁTEX,S.A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Karla Marisol Marroquín deLeón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, agosto de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una guía importante a lo largo de mi vida y carrera universitaria.
Mis padres	Alma Odilia de León y Alfredo Rafael Marroquín, por su apoyo y amor incondicional.
Mis hermanos	Ingrid, José Alfredo y Andrés Marroquín, por su apoyo a lo largo de mi vida.
Mis amigos	Por brindarme su cariño, alegría y compartir cada éxito conmigo.
Mi asesor	Allan Emilio Maldonado, por su apoyo y motivación a lo largo de mi trabajo de graduación.
Mi coasesor	Edwin José Saravia, por brindarme su apoyo, por compartir sus conocimientos y guiarme a lo largo de este trabajo.
Mi revisor	César Ariel Villela, por su paciencia y colaboración en la revisión de mi trabajo de graduación.

Miguel Lemus

Por su paciencia y ayuda a lo largo del proceso del EPS.

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser una importante influencia en mi carrera, permitirme ser parte de esta casa de estudio y ser egresada de la misma.
- Mi madre** Alma Odilia de León, por su amor incondicional y brindarme lo mejor que he tenido en mi vida gracias a su esfuerzo y lucha. Por ser una mujer ejemplar y admirable.
- Mi padre** Alfredo Rafael Marroquín, por su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida y ser un ejemplo a seguir.
- Mis amigas** Silda María Mora y Krista Alejandra Sandoval, por ser parte de esta aventura de seis meses, por su apoyo, consejos y ser unas grandes amigas a lo largo de este trayecto.
- Mis amigos** Por sus palabras de aliento, paciencia y el compartir con todos ellos las diferentes experiencias que nos ha presentado la vida.
- Lic. Rodrigo González** Por brindarme la oportunidad de realizar mi EPS en Grupo Introsa.

Grupo Introsa

Por brindarme su apoyo y todo lo necesario para realizar mi trabajo de graduación, especialmente a mi asesor Allan Maldonado y coasesor Edwin Saravia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Látex.....	3
2.1.1. Definición	3
2.1.2. Composición de látex	3
2.1.2.1. Proteínas	4
2.1.2.2. Aminoácidos	4
2.1.2.3. Lípidos	4
2.1.2.4. Inositas y carbohidratos	5
2.1.2.5. Constituyentes inorgánicos.....	5
2.1.2.6. Componentes menores	6
2.1.3. Látex de campo	7
2.1.4. Látex concentrado	7
2.1.4.1. Látex alto amonio	7
2.1.4.2. Látex bajo amonio	7
2.2. Centrifugación	8

2.2.1.	Definición de centrífuga.....	8
2.2.2.	Centrífugas para la separación sólido-líquido	8
2.2.3.	Criterios de actuación.....	9
2.2.4.	Tipos de centrifugas	9
2.2.4.1.	Centrífugas de sedimentación.....	10
2.2.4.2.	Filtros centrífugos.....	10
2.2.5.	Equipo para centrifugación del látex	12
2.2.5.1.	Decantador centrífugo.....	12
2.3.	Centrifugación del látex.....	13
2.3.1.	Características y factores del proceso de látex concentrado.....	14
2.3.1.1.	Frescura	14
2.3.1.2.	Espuma	15
2.3.1.3.	Calor.....	15
2.3.1.4.	Pérdidas de preservantes.....	16
2.3.1.5.	Almacenaje.....	16
2.3.1.6.	Transporte.....	17
2.3.1.6.1.	Tambores o bidones	18
2.3.1.6.2.	Contenedores de cisterna.....	19
2.3.1.6.3.	Paletas	19
2.3.1.6.4.	<i>Flexibags</i>	20
2.4.	Parámetros críticos de control del látex	20
2.4.1.	Contenido total de sólidos (TSC).....	20
2.4.2.	Contenido de hule seco (DRC).....	20
2.4.3.	Alcalinidad NH ₃	21
2.4.4.	Ácidos grasos volátiles (VFA).....	21
2.5.	Especificaciones técnicas internacionales	22

3.	DISEÑO METODOLÓGICO	25
3.1.	Variables.....	25
3.2.	Delimitación de campo de estudio	25
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	26
3.4.	Recursos materiales disponibles	26
3.5.	Técnica cuantitativa	28
3.6.	Recolección y ordenamiento de información	33
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	35
3.8.	Análisis estadístico	36
3.8.1.	Cálculos estadísticos	37
4.	RESULTADOS	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
6.	LOGROS OBTENIDOS	59
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Principios de filtración y separación centrífuga	11
2.	Error porcentual de magnesio del látex de campo caracterizado.....	39
3.	Error porcentual del contenido total de sólidos de <i>skim</i>	39
4.	Error porcentual del contenido de hule seco de <i>skim</i>	40
5.	Comparación del contenido de hule seco (DRC) del látex concentrado previo y posterior a la estandarización	48
6.	Comparación del contenido total de sólidos (TSC) del látex concentrado previo y posterior a la estandarización	49
7.	Eficiencia en función del contenido total de sólidos (TSC) del látex de campo previo a la estandarización	49
8.	Eficiencia en función del contenido de hule seco (DRC) del látex de campo previo a la estandarización	50
9.	Eficiencia en función de contenido total de sólidos (TSC) de látex de campo estandarizado	50
10.	Eficiencia en función del contenido de hule seco (DRC) del látex de campo estandarizado	51

TABLAS

I.	Composición del látex	6
II.	Especificaciones de calidad genéricas de látex natural concentrado...	22
III.	Contenido de magnesio de látex de campo caracterizado.....	34

IV.	Kilogramos de DAP y litros de agua suave de solución, para preparación del látex de campo en base al contenido de magnesio	35
V.	Descripción estadística para variables fisicoquímicas de entrada del látex caracterizado.....	40
VI.	Descripción estadística para variables fisicoquímicas de <i>skim</i> del látex caracterizado.....	41
VII.	Descripción estadística para las variables fisicoquímicas de salida del látex caracterizado.....	41
VIII.	Descripción estadística para la eficiencia del proceso de centrifugación.....	42
IX.	Experimento unifactorial para el contenido de hule seco (DRC) concentrado.....	42
X.	Experimento unifactorial de la eficiencia.....	43
XI.	Análisis de varianza para el contenido de hule seco (DRC) concentrado.....	44
XII.	Análisis de varianza para la eficiencia.....	45
XIII.	Caracterización del látex de campo por medio del contenido total de sólidos (TSC), contenido de hule seco (DRC), porcentaje de amoníaco (NH ₃) y cantidad de magnesio (Mg).....	47
XIV.	Variables fisicoquímicos de ingreso del látex de campo estandarizado.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
VFA	Ácidos grasos volátiles
DRC	Contenido de hule seco
TSC	Contenido total de sólidos
<i>CV</i>	Coeficiente de variación
DRC	Contenido de hule seco
TSC	Contenido total de sólidos
Mg	Contenido de magnesio
σ	Desviación estándar muestral
MST	Estabilidad mecánica
$\sigma_{\bar{x}}$	Error típico de la media
DAP	Fosfato diamónico
g	Gramos
°C	Grados Celsius
h	Hora
KOH	Hidróxido de potasio
ΔDRC_c	Incertidumbre indirecta de contenido de hule seco conocido
ΔDRC	Incertidumbre indirecta de contenido de hule seco
$\Delta EDTA$	Incertidumbre de la bureta
ΔMg	Incertidumbre indirecta de magnesio
ΔTSC	Incertidumbre indirecta del contenido total de sólidos
ΔW	Incertidumbre de balanza analítica
E	Incertidumbre porcentual

ΔDRC	Incertidumbre indirecta del contenido de hule seco
ΔMg	Incertidumbre indirecta de magnesio
ΔTSC	Incertidumbre indirecta del contenido total de sólidos
ΔW	Incerteza de balanza analítica
E	Incertidumbre porcentual
kg	Kilogramos
\bar{X}	Media muestral
\tilde{X}	Mediana
M	Molaridad
mg	Miligramos
ml	Mililitros
mm	Milímetro
M	Molaridad de solución de EDTA
EDTA	Mililitros de EDTA empleados en la titulación
N	Número total de datos x_i
%	Porcentaje
W_{caja}	Peso caja Petri
W_m	Peso de la muestra
W_{mL}	Peso de la muestra de látex
W_{ms}	Peso de la muestra de <i>skim</i>
W_{seco}	Peso seco
W	Peso de la muestra de látex
ppm	Partes por millón
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
X_i	Valor de la repetición i
σ^2	Varianza

GLOSARIO

DAP	Fosfato diamónico. Es una de las sales de fosfato de amonio solubles en agua que se puede producir a partir de la reacción de neutralización entre ácido fosfórico y el amoníaco.
Desviación estándar	Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media.
DRC	Por sus siglas en inglés Dry Rubber Content, porcentaje en peso del látex el cual es coagulado con ácido acético con condiciones definidas.
Media	Suma de todos los valores observados, dividido por el número total de observaciones.
Mediana	Medida que nos permite conocer el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de datos después que las observaciones se han ubicado en serie ordenada.
Skim	Subproducto que se obtiene en el proceso de centrifugación del látex, compuesto por lípidos, proteínas, carbohidratos, contenido de hule seco.

TSC	Por sus siglas en inglés Total Solid Content, es la medida total de látex y otros sólidos.
Varianza	Medida que permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central.
VFA	Por sus siglas en inglés Volatile Fatty Acids número de ácidos grasos volátiles en el látex que se forman por la acción de microorganismos sobre algunos de los carbohidratos presentes en el suero.

RESUMEN

El presente proyecto de Ejercicio Profesional Supervisado tuvo como objetivo implementar una estandarización del látex de campo previo al proceso de centrifugación para obtener un látex concentrado que cumpla con especificaciones internacionales.

Se caracterizó fisicoquímicamente el látex natural monitoreando sus parámetros fisicoquímicos: contenido total de sólidos (TSC), amoníaco, contenido de hule seco (DRC) cada uno contenido de magnesio (Mg) de entrada y salida así como el contenido total de sodio (TSC) y contenido de hule seco (DRC) de las pérdidas del proceso de centrifugación conocidas como *skim*, con lo que se realizó un balance de masa para obtener un contenido total de sodio (TSC) de referencia de entrada del látex de campo para obtener un DRC al 70 %. También se determinó la eficiencia del proceso.

A partir de la caracterización se llevó el contenido total de sodio (TSC) de entrada del látex de campo a los rangos de contenido total de sodio (TSC) de referencia para obtener los parámetros fisicoquímicos de entrada estandarizados, se comparó las propiedades fisicoquímicas del látex concentrado previo y posterior a la estandarización. Y se realizó una relación de la eficiencia en función de los parámetros de entrada del látex de campo.

Con lo que se obtuvo un TSC de referencia de 28,89 al 33,51 % y una eficiencia del proceso de 71,31 al 93,33 %. El látex estandarizado tuvo parámetros de entrada de TSC 30,00 al 32,00 %, DRC 26,19 al 30,57 %, VFA

0,016 al 0,022 y NH_3 0,37 al 0,55 %. La eficiencia en función de los parámetros de entrada del látex de campo tuvo una tendencia aleatoria.

OBJETIVOS

General

Estandarizar las variables fisicoquímicas del látex de campo en el proceso de centrifugación para obtener un látex concentrado con especificaciones técnicas internacionales de calidad.

Específicos

1. Caracterizar fisicoquímicamente el látex de campo mediante los parámetros NH_3 (porcentaje de amoníaco), TSC (contenido total de sólidos) y Mg (contenido de magnesio).
2. Establecer los parámetros fisicoquímicos de ingreso del látex de campo previo al proceso de centrifugación.
3. Comparar las propiedades fisicoquímicas del látex concentrado previo y posterior a la estandarización del látex de campo.
4. Determinar la eficiencia del proceso de centrifugación en función a los parámetros de calidad de látex de campo.

Hipótesis

Es factible estandarizar el látex de campo por medio del control de parámetros críticos a través de diferentes métodos de laboratorio y balance de masa.

Hipótesis nula:

Ho1: No es factible realizar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas en el látex de campo previo al proceso de centrifugación.

Ho2: No existe diferencia significativa en la eficiencia del proceso de centrifugación en función del contenido total de sólidos (TSC) del látex de campo.

Ho3: No existe diferencia significativa entre la adición de DAP en el látex de campo en función de las propiedades fisicoquímicas del látex concentrado.

Ho4: No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del látex concentrado previo y posterior a la estandarización.

Hipótesis alternativa:

Hi1: Es factible realizar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas en el látex de campo previo al proceso de centrifugación.

Hi2: Existe diferencia significativa en la eficiencia del proceso de centrifugación en función del contenido total de sólidos (TSC) del látex de campo.

Hi3: Existe diferencia significativa entre la adición de DAP en el látex de campo en función de las propiedades fisicoquímicas de látex concentrado.

Hi4: Existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del látex concentrado previo y posterior a la estandarización.

INTRODUCCIÓN

El látex natural derivado del árbol de hule (*Hevea brasiliensis*) es un sistema biológico complejo. Este contiene hidrocarburo de caucho, azúcares, proteínas, lípidos, carotenoides, sales minerales, enzimas y otras numerosas sustancias nitrogenadas.

El látex concentrado se procesa por medio de una centrifugación a alta velocidad a partir de látex de campo conservado químicamente para cumplir las especificaciones de calidad. Este es utilizado para fabricar gran variedad de productos como pelotas, guantes, impermeables, adhesivos, pinturas y otros.

En América Latina, Guatemala es el mayor país productor y exportador de látex de caucho o hule natural. El caucho alcanzó exportaciones en el 2011 por USD 396 millones y presenta una tasa de crecimiento promedio anual del 36,6 % durante el período 2002 al 2011. Esta tasa de crecimiento puede ser considerada alta y de gran relevancia para las exportaciones de Guatemala, aunque depende del entorno de precios en los que cada año se encuentre.

Guatemala reporta la tasa de crecimiento anual más alta dentro de los países productores de este producto en el continente. Durante el 2011, Guatemala fue el exportador número cinco a nivel mundial de las exportaciones de caucho en forma de látex por un total de unos USD 109,5 millones. Según datos del Banco de Guatemala a febrero 2015 se ha exportado USD 24,8 millones.

Tomando en cuenta la importancia comercial que tiene el látex, se debe cumplir con las diferentes especificaciones que exigen los clientes para el látex concentrado con un DRC (contenido de hule seco) de 60,00 % para lo cual es necesario estandarizar el látex de campo controlando diferentes parámetros fisicoquímicos: el VFA (ácidos volátiles grasos), TSC (contenido total de sólidos) y alcalinidad expresado como porcentaje de amonio (NH_3), porcentaje de DAP (fosfato diamoníaco) y magnesio.

1. ANTECEDENTES

El estudio sobre la estandarización del látex de campo previo a una centrifugación no se ha trabajado específicamente, por lo que se convierte en una temática exploratoria a tratar. Sin embargo, si se han realizado diversos estudios sobre productos elaborados con látex y del látex.

En el 2008, Roberto Antonio Cahueque Acosta de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó el estudio *Evaluación de dos agentes coagulantes para látex natural, en la fabricación por inmersión de guante tipo doméstico*. En ella se evaluaron tres coagulantes: nitrato de calcio en solución acuosa, nitrato de calcio en solución alcohólica y ácido acético en solución acuosa, con lo que se obtuvo un marco de comparación de tiempos de inmersión y producción, requeridos para la obtención de diferentes espesores de película de hule natural durante el proceso de producción de guante doméstico por proceso de inmersión.

En 1991, Carlos Remberto Salguero García, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó el trabajo de graduación *Estudio del comportamiento de la maduración del látex natural, producto en Guatemala, centrifugado, de alto amonio* en el que se determinó el comportamiento de la maduración del látex centrifugado de alto amonio producido en Guatemala. Además en qué medida cumple con los requisitos internacionales de calidad. De esta forma contribuir con la industria del látex, ya que se hacen análisis de los parámetros fundamentales, hidróxido de potasio (KOH), ácidos graso volátiles (VFA), contenido de hule seco (DRC), contenido total de sólidos (TSC), estabilidad mecánica (MST), durante un periodo de cinco

meses, en tres muestras al azar. En lo que se encontró que las variaciones más significativas en las características del látex se dan en los primeros días de haber sido centrifugado, después el comportamiento tiende a uniformizarse.

En de 2003, Sekhar Balachandra Chakkingal, realizó el estudio científico *Improvements to centrifugation of rubber latex* en el donde se evaluó un procedimiento para mejorar la eficiencia de la centrifugación del látex natural a más de 95 % y la reducción del DRC del *skim* a menos del 2 %. El proceso comprende efectuar la agrupación de partículas de látex en el látex natural que se separa por centrifugación. En particular el agrupamiento de las partículas de látex se logra por la adición de un agente de formación de látex como alginatos, polvo de semilla de tamarindo y el alcohol de polivinilo. Los agentes deben tener un DRC de 0,3 a 0,7 %. En otra forma de realización, el látex de campo se diluye a un contenido de hule seco inferior y se añade un detergente.

En 2013, el Departamento de Ciencias de los Materiales y Tecnología, de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Príncipe de Songkla de Tailandia, realizó el estudio *Rubber recovery from centrifuged natural rubber latex residue using sulfuric acid* en donde se encontró que el tiempo de digestión y la concentración del ácido tienen un efecto en la cantidad y pureza en el hule recuperado. El ácido sulfúrico a concentraciones mayores del 10 % con tiempo de digestión de 48 horas completamente digerido por el desperdicio del proceso de centrifugación da un porcentaje en peso de hule del 10 %. La calidad del hule es extraída y es examinado por la viscosidad de mooney, índice de plasticidad, contenido de nitrógeno y contenido de cenizas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Látex

El látex natural se obtiene a partir de la savia extraída del árbol *Hevea brasiliensis* o árbol del caucho. Este árbol es originario de la región amazónica hasta que en el siglo XIX los ingleses establecieron plantaciones en Malasia, Birmania y Ceilán.

2.1.1. Definición

Es una dispersión coloidal de una sustancia polimérica en medio acuoso. Se entiende como látex natural al producto de una sangría efectuada en el árbol de caucho (*Hevea-brasiliensis*), posteriormente concentrado por los métodos de centrifugado, cremado, evaporación, entre otros.

2.1.2. Composición de látex

Las partículas de látex constituyen 25 – 45 % del volumen de látex. Las partículas de hule están protegidas por una compleja película que contiene proteínas y lípidos. El látex contenido en las partículas es insoluble en agua y ocurre como un agregado molecular. Una partícula de diámetro 0,1 μm puede contener 483 moléculas de látex con peso molecular de 6×10^5 . El hidrocarburo de látex es principalmente cis-1, 4-polisopropeno (por lo menos 99 %).

En la composición química los constituyentes abundantes que no son látex excluyendo el agua son proteínas, lípidos, quebrachitol (inositol metilo). Este es

un poliol cíclico presente en las membranas plasmáticas, y sales inorgánicas, pero como sería de esperar de la naturaleza citoplásmica de látex, un gran número de otras sustancias están presentes en pequeñas cantidades.

2.1.2.1. Proteínas

El contenido total de proteínas en el látex fresco es aproximadamente 1 % a 1,5 % del cual el 20 % es adsorbido en las partículas de hule y una proporción similar es asociada con una fracción inferior. Lo restante es disuelto en la fase de suero. Las proteínas y los lípidos adsorbidos imparten estabilidad coloidal al látex y lo restante asociado con la fase de hule cuando el látex es coagulado por el ácido durante el proceso del hule seco.

2.1.2.2. Aminoácidos

Los aminoácidos libres comprenden acerca del 0,1 % del látex. Los aminoácidos predominantes son ácido glutámico, alanina y ácido aspártico que en conjunto representan alrededor del 81 % del contenido total de aminoácidos. En el látex, la hidrólisis de las proteínas se produce lentamente para dar polipéptidos y aminoácidos.

2.1.2.3. Lípidos

Los lípidos son insolubles en agua y están concentrados en la fase de látex en pequeñas cantidades en la fracción inferior. Los lípidos pueden ser divididos en lípidos neutros y lípidos polares. En el látex los lípidos polares son fosfolípidos. Los lípidos neutros son acetona soluble, pero los fosfolípidos degradados no lo son. Los lípidos totales en las partículas de hule varían de 1,4 (en el contenido de hule seco, DRC) a 3,2 %.

2.1.2.4. Inositas y carbohidratos

Quebrachitol (inositol metilo) el cual es un poliol cíclico presente en las membranas plasmáticas, es el componente más concentrado en la fase de suero, aproximadamente 1 % de todo el látex. Una cantidad pequeña de isómeros de inositol, sucrosa, glucosa, galactosa, fructosa y dos tipos de pentosas. En la ausencia de la preservación correcta, los carbohidratos, pero posiblemente no las inositas, son metabolizadas por bacterias y se convierten en ácidos grasos volátiles (VFA, principalmente ácido fórmico, acético, y propiónico).

2.1.2.5. Constituyentes inorgánicos

La concentración total de iones inorgánicos en el látex es aproximadamente 0,5 % de los cuales más de la mitad está constituido por potasio (0,12 – 0,25 %) y iones de fosfato (0,25 %). Pequeñas cantidades de magnesio, cobre, hierro, sodio y calcio. Las proporciones de estos iones, que varían por su genética y ambiente, pueden tener influencia en la estabilidad coloidal del látex y su concentración.

En particular la conversión del magnesio a iones fosfatos tiene efecto en la estabilidad mecánica del látex concentrado. El magnesio y fosfato en presencia de amonio forman fosfato de amonio y magnesio escasamente soluble, el cual es removido antes y durante la centrifugación del látex.

Por lo que es deseable remover el exceso de magnesio y otros iones positivos (Ca, Mg) por medio de la adición de fosfato diamoníaco (DAP) antes de la centrifugación. Sin embargo, es importante no añadir cantidades

excesivas de DAP porque además de reducir la estabilidad mecánica incrementa el número de hidróxido de potasio.

2.1.2.6. Componentes menores

Por último otros componentes que constituyen el látex de manera poco predominante son el ácido ribonucleico (RNA), nucleósidos de pirofosfato y tioles de bajo peso molecular.

Tabla I. **Composición del látex**

	Porcentaje
Agua	58,5
Contenido total de sólidos (TSC)	41,5
compuesto por:	
DRC (contenido de hule seco)	39,0
Sustancias proteínicas	1,4
Lípidos neutros	1,0
Fosfolípidos	0,6
Cenizas	0,5
Inositoles y carbohidratos	1,6
Otros componentes de nitrógeno	0,3

Fuente: CHEN, Fong, et al. *Latex Concentrate Production and Introduction to Latex Product Manufacture*. p. 2.

2.1.3. Látex de campo

Durante el picado del árbol de hule se obtiene un fluido lechoso que antes de su preservación es conocido como látex de campo. Para la preservación existen diferentes reactivos químicos.

Es una suspensión coloidal de partículas de hule con una concentración de amoniaco 0,30 % mínimo y preservado con una solución de óxido de zinc y TMTD (tetrametiltiurano disulfuro).

2.1.4. Látex concentrado

El látex concentrado es un tipo de látex que se obtiene al someter el látex de campo a un proceso de centrifugación en donde se da una separación sólida-líquida. Existen varios tipos de látex concentrado:

2.1.4.1. Látex alto amonio

Es una suspensión coloidal de partículas de hule con una concentración de amoniaco mínimo de 0,60 %, preservantes y contenido de hule seco (DRC) de 60 %.

2.1.4.2. Látex bajo amonio

Es una suspensión coloidal de partícula de hule con una concentración de amoniaco de 0,24 a 0,29 %, preservantes y un contenido de hule seco (DRC) de 60 %.

2.2. Centrifugación

Es una operación de separación de partículas sólidas existentes en una suspensión (normalmente líquida) por la acción de una fuerza centrífuga que hace que los componentes más pesados se sedimenten más rápidamente y los livianos quedan como sobrenadante.

2.2.1. Definición de centrífuga

Cualquier equipo giratorio en el que se aplica una fuerza centrífuga con propósitos útiles, por ejemplo la separación de fases, se conoce como una centrífuga. Por lo general consta de:

- Un tazón o rotor, en el que el material a tratar se acelera en forma centrífuga.
- Un tubo de alimentación por el que entra el material.
- Un eje de impulso.
- Los cojinetes del eje de impulso.
- Un mecanismo impulsor (por lo general un motor eléctrico) para girar el eje y el rotor.
- Una cubierta para segregar los productos separados.
- Una estructura para soportar y alinear estos elementos.
- Los sellos entre la cubierta y el eje (cuando se desea una contención a presión).

2.2.2. Centrífugas para la separación sólido-líquido

Las centrífugas para la separación de sólidos contenidos en líquidos son generalmente de dos tipos: centrífugas de sedimentación en las que se requiere

una diferencia de densidades entre las dos fases y centrifugas de filtración, en las que la fase sólida está soportada y se retiene en una membrana permeable a través de la cual pasa libremente la fase líquida.

2.2.3. Criterios de actuación

La separación de una suspensión sólido-líquido normalmente se mide por la purificación de la fase líquida separada (efluente líquido), en el modo de sedimentación o por el filtrado en el modo de filtración y la separación de los sólidos en la torta. Además existen otras consideraciones importantes. Generalmente, se usan algunos de los criterios siguientes en función de los objetivos del proceso:

- Sequedad de la torta o contenidos de humedad
- Dosificación de polímero
- Tamaño a recuperar y rendimiento
- Rendimiento volumétrico y de sólidos
- Pureza del sólido y razón de lavado
- Consumo de potencia

2.2.4. Tipos de centrifugas

Existen varios tipos de centrífugas y estas pueden ser clasificadas por su forma de actuación en la separación de fases o por medio de su velocidad, revoluciones por minuto (rpm), en este caso se enfocará en su forma de actuación.

2.2.4.1. Centrífugas de sedimentación

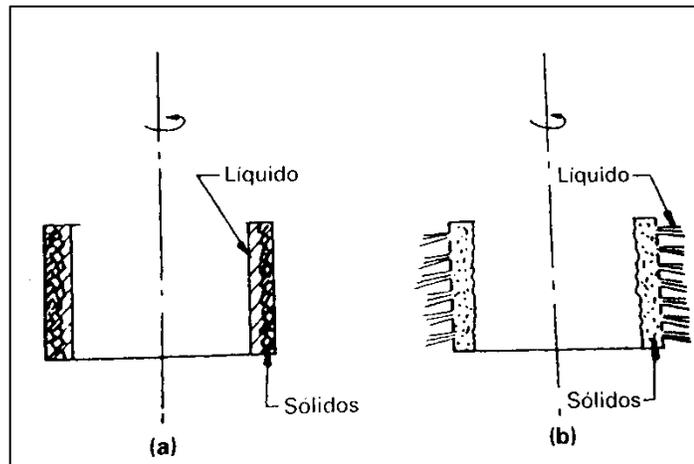
Estas separan o concentran partículas de sólidos en un líquido haciendo que emigren a través del fluido en dirección radial hacia el eje de rotación o alejándose de él, según la diferencia de densidades entre las partículas y el líquido. Si no hay diferencia en la densidad de las fases, la centrífuga no logrará efectuar la separación.

2.2.4.2. Filtros centrífugos

Como en los sedimentos centrífugos, los sólidos más pesados se depositan formando una torta. En los filtros centrífugos, la pared del recipiente es una malla, una superficie perforada o, en general un campo centrífugo, el líquido sobrenadante, así como el retenido en la torta fluye a través de la torta y el filtro.

Debido a que los sólidos son más gruesos comparados con los que se procesan mediante sedimentación centrífuga, el asentamiento por gravedad es rápido, siendo la filtración la etapa limitante del proceso. El lavado y secado de la torta son procesos muy comunes en los filtros centrífugos. Los filtros centrífugos son conocidos también como agitadores, extractores o desecadores. Difieren según que la alimentación sea por cargas, intermitente o continua, y en el modo de extracción de sólidos del cesto.

Figura 1. Principios de filtración y separación centrífuga



Fuente: PERRY, Robert, GREEN, Don. *El Manual del Ingeniero Químico Volumen III*. p. 18-133.

En el inciso (a) se muestra como bajo el efecto de una fuerza centrífuga, la fase sólida más densa que la fase líquida sedimenta sobre las paredes del recipiente (sedimentación). Simultáneamente, la fase líquida más ligera, capaz de flotar, se desplaza hacia el menor diámetro (flotación).

En la centrífuga de filtración inciso (b), para la separación de los sólidos de los líquidos no es necesario la existencia de una diferencia neta de densidades entre las fases. Si existe una diferencia de densidades entre las dos fases, la sedimentación sería más rápida que si se compara con la filtración. En ambos casos las fases sólida y líquida se desplazan hacia la parte externa del recipiente por la acción de una fuerza centrífuga. De esta manera los sólidos son retenidos por el medio filtrante, mientras que el fluido pasa a través de la torta sólida y el filtro.

2.2.5. Equipo para centrifugación del látex

Algunas industrias suelen usar centrifugas para la clarificación de este producto y así mejorar su calidad en el menor tiempo posible. Las centrifugas que se utilizan en la industria de látex son equipos de rotor sólidos que no hacen grandes descargas parciales. Estos equipos tienen un rol importante en la calidad final del producto.

2.2.5.1. Decantador centrífugo

El decantador centrífugo (conocido también como recipiente de paredes macizas o centrífuga en espiral) consta de un recipiente de paredes sólidas con un tornillo o transportador entre el sólido y el líquido de entrada y descarga. Tanto el recipiente como el transportador giran a alta velocidad, aunque con una pequeña diferencia de velocidades entre ambos elementos, que es la responsable del desplazamiento de los sólidos sedimentados a lo largo del equipo, desde la parte cilíndrica hasta la sección cónica de descarga.

El equipo está ensamblado de forma horizontal sobre unos rodamientos y, para el caso de una disposición en vertical, con un único rodamiento en la base y suspendido desde la parte superior. Con la primera configuración, el peso del conjunto de rotación proporciona un buen sellado para aplicaciones a alta presión. El recipiente (canasta) puede tener una forma cónica o cilíndrica o, como sucede en la mayoría de las ocasiones, una combinación de ambas.

La suspensión se introduce a la zona de aceleración a través de una conducción fija localizada próxima al eje de la máquina. Se pone en movimiento y se acelera por el contacto con las superficies en rotación a una determinada velocidad angular con anterioridad a la descarga de líquido, en la parte de la

pileta, como consecuencia de la separación a través de una serie de orificios en el elemento transportador.

En las zonas de estancamiento, bajo una aceleración centrífuga, los sólidos que son más pesados, en comparación con el líquido, sedimentan sobre las paredes del recipiente; mientras que el líquido clarificado se desplaza radialmente hasta la zona de estancamiento. Seguidamente, el líquido fluye en la dirección del canal helicoidal (o canales, si el tornillo transportador tiene múltiples alas), logrando que el líquido sea arrastrado hasta el vertedor.

2.3. Centrifugación del látex

El proceso de centrifugación básicamente separa las partículas livianas de hule de los componentes densos. En el proceso se dan las siguientes etapas:

- Eliminación de agua, el látex de campo en la alimentación tiene un DRC de 28 – 34 % y es concentrado a un DRC de 60 %.
- Eliminación de materiales insolubles que no son hule, como el lodo y preservantes sólidos.
- Eliminación del 50 – 60 % de ácidos volátiles grasos (VFA).
- Eliminación de más del 50 % del amoníaco usado como preservante para el látex de campo.

El proceso es incompleto y resulta en una pérdida acerca de 10 – 11 % de látex como subproducto llamado látex skim. Además, una pequeña proporción del látex se pierde a través de la coagulación local dentro de los separadores. Una nueva pérdida pero inevitable, es la pérdida de los lavados cuando las centrifugas se detienen periódicamente para su limpieza.

El proceso de centrifugación afecta la concentración producida de la siguiente forma:

- Despoja a las partículas de caucho de su entorno natural y las deja en crudo y mecánicamente muy inestables.
- Crea espuma la cual no se rompe con facilidad ni rapidez.
- Genera calor que provoca la coagulación local del látex alimentado y eventualmente el bloqueo de látex distribuido. También provoca la formación rápida de una capa del concentrado descargado.
- Remueve la mayoría de preservantes añadidos inicialmente al látex de campo, poniendo así en peligro la calidad del concentrado a menos que la preservación sea rápida.

2.3.1. Características y factores del proceso de látex concentrado

El manejo del látex concentrado depende de varios factores como la preservación y otros que pueden afectar su calidad. También es importante tener un adecuado procedimiento para su transporte y almacenamiento.

2.3.1.1. Frescura

Para reducir la pérdida de hule a través de la coagulación local en la concentración producida, una cantidad de laureato de amonio es adicionada al látex a medida que fluye desde la centrífuga hacia el tanque de almacenamiento. De existir una necesidad de agregar otros químicos y agitar el látex, debe ser lentamente para no crear una agitación innecesaria y turbulencia. Por esta razón, todas las fábricas de concentrado de látex utilizan ya sea el método gravitacional de movimiento, o el uso de aire comprimido,

agitadores de baja velocidad del 20–40 rpm son usados para mezclar los preservantes, así como para crear un lote de producción homogénea. El látex concentrado recién producido tendrá una estabilidad mecánica (MST) de menos de 100 segundos. La adición de una pequeña dosis de laureato de amonio ayuda a estimular la estabilidad mecánica (MST) a cerca de 800–1 200 segundos durante 2–4 semanas de maduración a nivel de fábrica antes de que el látex se almacene o sea transferido a la instalación portuaria.

2.3.1.2. Espuma

Es una característica inevitable del proceso que tiene lugar la formación de espuma. Para reducir pérdidas de hule a través de la salida de espuma seca, se permite que la capa inicial de espuma seca fluya por debajo del concentrado. Esta práctica ayuda a reducir la pérdida de amoníaco. Debido a que es un traspaso mínimo de la espuma al tanque de almacenamiento de recepción, el concentrado es normalmente recibido ya sea en un *buffer*/tanque de mezcla o un depósito soplado. Las espumas se eliminan una vez cada día o con más frecuencia para que el rendimiento de procesamiento sea mayor.

2.3.1.3. Calor

Aparte de causar coagulación gradual del látex de campo dentro de la centrífuga. La formación de una capa en el concentrado producido, no se conoce que afecte la manipulación desde la centrífuga hacia el tanque, donde se ha enfriado el látex a temperatura ambiente.

2.3.1.4. Pérdidas de preservantes

Esta también es una consecuencia inevitable del proceso. Sin embargo, las cantidades residuales de cualquier sustancia química que fueron añadidas previamente al látex de campo tendrán que permanecer para conferir protección temporal. No obstante, el procedimiento estándar es tratar el látex concentrado, que ha salido del proceso, rápidamente con cualquier preservante.

Como regla general, el látex concentrado debe ser manejado al mínimo por las siguientes razones:

- Las pérdidas por manipulación son reducidas
- Reducción del riesgo en la mezcla de tipos de látex
- Reducción del riesgo de contaminación
- Ahorros en supervisión y mano de obra

La concentración después de la producción es tratada con cantidades específicas de preservantes. Se hace alguna dilución de ser necesaria, y se deja madurar hasta que el laboratorio indique que el DRC (contenido de hule seco), contenido de amoníaco y VFA (ácidos volátiles grasos) está dentro de las especificaciones.

2.3.1.5. Almacenaje

El látex concentrado es popularmente almacenado en tanques de presión con capacidad de 45 000–90 000 litros. La ventaja de estos es la facilidad de mantenimiento y sin riesgos de pérdida de látex en el caso del fallar el embalaje cuando el depósito está bajo compresión.

También es almacenado en tanques cilíndricos verticales sin presión. Estos tienen 180 000 litros de capacidad y son usados para madurar el látex concentrado. Los tanques de presión tienen una ventaja sobre los tanques sin presión, la capacidad de evacuar su contenido completamente a cualquier nivel y rápidamente.

Todos los tanques tienen que ser forrados para protegerse de la contaminación de hierro. Tradicionalmente se utiliza parafina, debido principalmente a su inercia a los preservantes comunes usados en varios niveles de concentración, fácil remoción de la capa de concentrado seco, fácil aplicación y bajo costo.

Todos los tanques deben almacenarse a temperatura ambiente con el fin de que sus propiedades permanezcan predecibles, y para minimizar la pérdida de amoníaco hacia el ambiente. En la mayoría de situaciones, los tanques están bajo techo. En el caso de los tanques sin presión verticales, suelen estar aislados y el techo en la parte superior y a los lados se omite.

2.3.1.6. Transporte

El transporte del látex ha tenido varios cambios según los requisitos del cliente. En los últimos cinco años se han visto nuevos métodos de transporte así como los tradicionales que mantienen todavía sus motivos.

En los mercados locales, el látex concentrado se envía a los compradores en cisternas y tambores, en función de la cantidad comprada y capacidad de carga según las instalaciones disponibles. Donde es preocupante es el mercado extranjero, los modos de empaque del látex son más variados, ya que el perfil de los compradores extranjeros son diferentes, su ubicación geográfica puede

permitir una forma de empacar sobre otros. Tamaño, consideraciones de calidad y facilidad de recuperación del látex concentrado forman los principales criterios en la elección de los distintos modos de transporte.

2.3.1.6.1. Tambores o bidones

La entrega en bidones continúa siendo un formato popular principalmente debido a su rentabilidad, fácil distribución para clientes pequeños, y la precisión en la toma de acciones.

El látex concentrado se empaca en nuevos tambores de acero. Dependiendo del calibre de acero, la capacidad máxima puede ser de 207 kilos, pero el peso neto declarado es 205–206 kilos. A diferencia de los tambores utilizados para el aceite que son sin forro, todos los tambores fabricados para la entrega de látex deben ser revestidos con una capa de un compuesto bituminoso que es químicamente resistente al látex, preservantes y estabilizantes.

Los tambores para transporte es uno de los medios más costosos de manejar el látex concentrado. A pesar de esto, siguen siendo ampliamente aceptados por un número considerable de usuarios que no tienen instalaciones a granel y por algunos lugares que restringen el uso de contenedores pesados en las carreteras. Además el látex especial requerido en pequeñas cantidades se empaca mejor en tambores.

2.3.1.6.2. Contenedores de cisterna

La venida de los contenedores ha traído consigo otra manera de enviar el látex, en tanques de acero inoxidable de 18 toneladas. Aunque este formato no es específico para el látex, ha tenido un uso muy popular en Europa.

Los contenedores cisternas son básicamente un tanque cilíndrico horizontal encerrado dentro de un marco de acero rectangular que permite un fácil apilamiento y remoción. Esta característica es la más adecuada para los usuarios finales que no tienen acceso a un patio de tanques.

La carga en contenedores cisternas no es diferente de los tambores de carga, excepto que en una escala más grande. El contenedor esta sellado en la entrada y la salida para prevenir el hurto o la contaminación.

2.3.1.6.3. Paletas

Este formato implica llenar una bolsa de polietileno dentro de una paleta de madera. Hay de dos tamaños de 1,0 tonelada y 1,2 toneladas. El látex paletizado requiere el envío dentro del contenedor para proteger contra daños.

Un contenedor de 76 x 205 kilos contiene 15 580 kilos látex húmedo, en comparación con 16 000 kilos húmedos para 16 x 1 toneladas en paleta. Un tamaño de 1, 2 toneladas empaca 19 200 kilos húmedos por contenedor, más que el contenedor de cisterna de 18 toneladas. Por ello, el costo de envío de este tipo es atractivo.

2.3.1.6.4. Flexibags

Son básicamente bolsas de caucho reforzado reutilizables e infalibles anclados dentro de una caja contenedora. Cada *flexibag* es de 20 toneladas de capacidad. La desventaja de este tipo de envase es la dificultad de limpiar el látex residual después de cada descarga. También impide comprobar la limpieza de los forros antes de la carga. Hay incidentes con las bolsas divididas durante la carga causando pérdidas. Sin embargo, las *flexibags* continúan siendo utilizadas por algunos compradores que han alcanzado un cierto grado de confianza y familiaridad con ellos.

2.4. Parámetros críticos de control del látex

Existen diferentes parámetros que permiten tener un control de calidad del látex tanto de campo como concentrado. Esto ayuda a tener un rendimiento mejor del proceso.

2.4.1. Contenido total de sólidos (TSC)

El contenido total de sólidos es el porcentaje en peso del látex que no es volátil a cierta temperatura a la intemperie, y es la medida total de látex y otros sólidos.

2.4.2. Contenido de hule seco (DRC)

El DRC es el porcentaje en peso del látex el cual es coagulado con ácido acético con condiciones definidas. La diferencia entre el contenido total de sólidos y la cantidad de hule seco se representa en los sólidos solubles que no son hule.

La calidad del látex concentrado al igual que el látex de campo es determinado por DRC y el VFA. El DRC del látex de campo varía en un amplio rango. Dependiendo de factores como tipos de clones, intensidad de picado, clima, los años del árbol y las condiciones del suelo. El DRC puede variar de 20 a 40 %. Para un procesamiento óptimo se requiere un DRC mínimo de 30 %.

2.4.3. Alcalinidad NH₃

La alcalinidad se refiere al álcali total presente en el látex y es expresada como la cantidad de amoníaco agregada en el látex.

El látex sufre de una coagulación espontánea o natural después de unas horas del picado. Esto debido al efecto de las bacterias y acciones enzimáticas en los constituyentes que no son hule, dando lugar a la evolución de la acidez y la desestabilización del látex. Amonio, formaldehído y sulfato de sodio son comúnmente agregados, para estabilizar el látex. Otros preservantes incluyen hidróxido de potasio, ácido bórico y pentaclorofenato de sodio. El látex concentrado obtenido por medio de la centrifugación es preservado con amonio o amonio con otros preservantes.

2.4.4. Ácidos grasos volátiles (VFA)

Los ácidos grasos volátiles en el látex se forman por la acción de microorganismos sobre algunos de los carbohidratos presentes en el suero. El ácido fórmico, acético y propiónico están presentes con el ácido acético predominantemente. La cantidad de ácidos grasos libres se expresa por el número de ácidos grasos volátiles, el cual es el número de gramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar los ácidos grasos volátiles en una muestra de látex que contiene 100 mg de sólidos totales.

Cuando el látex es preservado inadecuadamente, los carbohidratos (principalmente) y ciertos aminoácidos, son metabolizados por las bacterias y se convierten en ácidos grasos volátiles (VFA), principalmente ácido acético con una pequeña cantidad de ácido fórmico y propiónico. Estos ácidos no están presentes en el látex natural y su concentración en el látex comercial mide el grado de la descomposición bacteriana. Un incremento en las proporciones de las sales en los ácidos grasos libres (VFA) provoca un decrecimiento en la estabilidad mecánica.

2.5. Especificaciones técnicas internacionales

El látex se vende internacionalmente con base en los diferentes especificaciones de sus parámetros fisicoquímicos de látex concentrado esto para asegurar la calidad del mismo.

Tabla II. **Especificaciones de calidad genéricas de látex natural concentrado**

Núm.	Análisis	Límites especificados				Norma internacional de referencia
		Inferior	Superior	Inferior	Superior	
1	Contenido de hule seco (DRC) %	60,00	---	60,00	---	ISO 126
2	Contenido total de sólidos (TSC) %	61,50	---	61,50	---	ISO 124
3	Sólidos No-hule (TSC-DRC), %	---	1,75	---	1,75	---

Continuación de la tabla II.

4	pH	10,20	11,00	10,00	10,50	ASTM D1076
5	Alcalinidad total (NH ₃) %	0,60	---	---	0,27	ISO125
6	Alcalinidad fase acuosa %	---	---	---	---	ASTM D1076
7	Ácidos grasos volátiles (VFA) %	---	0,060	---	0,060	ISO 506
8	Índice de KOH	---	0,70	---	0,70	ISO 127
9	Estabilidad mecánica (MST), s	650	1 400	650	1 200	ISO 35
10	Contenido de coágulo, % (m/m)	---	0,030	---	0,030	ISO 706
11	Contenido de sedimentos, % (m/m)	---	0,10	---	0,10	ISO 2005
12	Viscosidad, cP	---	---	---	---	ISO 1652
13	Color	Blanco		Blanco		---
14	Olor	Dulce		Dulce		---

Fuente: *Especificaciones de calidad genéricas látex de hule natural concentrado – centrifugado.*
www.grupointrosa.com/index.php/es/first-es/productos-inlatsa-es. Consulta: 8 de junio de 2015.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

- Variables independientes
 - TSC (contenido total de sólidos) en látex de campo
 - Laureato de amonio
 - NH_3 (amoníaco)
 - Mg (magnesio) en látex de campo

- Variables dependientes y respuesta
 - DRC (contenido de hule seco) en látex concentrado
 - TSC (contenido total de sólidos) en látex concentrado
 - Mg (magnesio) en látex concentrado
 - KOH (hidróxido de potasio)
 - VFA (ácidos volátiles grasos) en látex concentrado
 - Porcentaje DAP en látex de campo

3.2. Delimitación de campo de estudio

La recolección de muestras se llevó a cabo en Industrias de Látex, S.A., ubicada en el kilómetro 130,5 de la carretera al Pacífico, Río Bravo, Suchitepéquez, Guatemala.

Este proyecto estuvo limitado a la estandarización del látex de campo, se midió los parámetros VFA (ácidos grasos volátiles), TSC (contenidos total de sólidos), NH_3 , Mg (cantidad de magnesio) y DRC (contenido de hule seco) en el

látex de campo y concentrado por métodos establecidos en el laboratorio químico INLATSA: TSC con base en la Norma ISO 124: 2014, DRC según la Norma ISO 125:2011, VFA según la norma ISO 506:1992 y NH₃ (porcentaje de amoníaco) según la Norma ISO 125-2011.

Los resultados obtenidos en el proyecto únicamente son aplicables a Industrias de Látex S.A., INLATSA, debido a su forma de producción específica y a la obtención de muestras de látex pertenecientes a la empresa.

3.3. Recursos humanos disponibles

Estos fueron las personas involucradas en el desarrollo del proyecto de investigación. El recurso humano presente en la investigación es:

- Investigadora responsable: Karla Marisol Marroquín de León
- Investigador asesor de planta INLATSA: Allan Emilio Maldonado
- Investigador coasesor de planta INLATSA: Edwin José Saravia Cano
- Encargado de Laboratorio INLATSA: Santos Cosigua

3.4. Recursos materiales disponibles

Fue la materia prima, cristalería, reactivos y equipos utilizados en el desarrollo experimental del proyecto. Los cuales son enlistados a continuación:

- Materia prima
 - Látex de campo
 - Látex concentrado

- Reactivos
 - Agua destilada
 - Ácido acético al 2 %
 - Ácido clorhídrico 0,1N
 - Solución sulfato de amonio al 35 %
 - Ácido sulfúrico al 30 %
 - Antiespumante
 - Indicador azul de bromotimol
 - Hidróxido de bario
 - Solución *buffer* pH 10
 - Indicador negro ericromo
 - EDTA 0,005M

- Cristalería
 - Caja Petri con 60 mm de diámetro
 - *Beaker* de vidrio de 250 ml
 - *Beaker* de vidrio de 100 ml
 - Bureta de 500 ml con sensibilidad de 5 ml
 - Pipeta volumétrica de 5 ml
 - Pipeta volumétrica de 10 ml
 - Pipeta volumétrica de 25 ml
 - Varilla de vidrio
 - Destilador Markham
 - Pinzas

- Equipo
 - Decantador centrífugo
 - Tanques de almacenamiento

- Horno de convección natural con capacidad de mantener 105 °C con sensibilidad de 5 °C
- Balanza analítica, con sensibilidad de 1 mg
- Desecadora
- Tamiz de 180 µm
- Plancha agitadora
- Agitador magnético
- Potenciómetro

3.5. Técnica cuantitativa

Fue una técnica cuantitativa porque el investigador tuvo determinadas variables que pueden ser manipuladas, y observar como varían en situaciones controladas.

Los análisis de laboratorio que se estudiarán serán:

- TSC con base en la Norma ISO 124: 2014,
 - DRC según la Norma ISO 125:2011,
 - VFA según la Norma ISO 506:1992 y
 - NH₃ (porcentaje de amoníaco) según la Norma ISO 125:2011
 - Mg (cantidad de magnesio)
- Preparación de la materia prima
 - El látex de campo se colocó en un tanque de almacenamiento con agitador.
 - Se calculó el porcentaje de magnesio para determinar qué cantidad de DAP se le agregaría al látex de campo.

- Se determinó el porcentaje de TSC (Total Solids Content) y DRC (Dry Rubber Content) de látex de campo.
- Se calculó la cantidad de agua que debe agregarse, por medio de un balance de masa a través del porcentaje de TSC del látex de campo.

- Contenido de magnesio
 - Se midió 15 ml de látex de campo en un tubo de centrifuga.
 - Se colocaron los tubos dentro de la centrifuga uno al frente del otro para balancear el peso, centrifugar por 15 minutos a 2 000 rpm, tenga especial cuidado de que el residuo no se mezcle con el látex.
 - Se pesó aproximadamente 3 gramos de látex clarificado en la balanza analítica en un matraz Earlenmeyer previamente tarado y registrar el peso exacto.
 - Se diluyó la muestra con 100 ml de agua destilada.
 - Se agregó 1 ml de la solución amortiguadora y 20 gotas de indicador negro de ericromo T, si se encuentra magnesio presente, la solución se verá roja o púrpura.
 - Se determinó el magnesio presente en el agua de dilución (blanco) midiendo 100 ml de agua destilada, agregarle 1 ml de solución amortiguadora y 6 gotas de indicador negro ericromo T.
 - Se tituló con solución de EDTA 0,005 M, el punto final se obtiene cuando se observa un color azul cielo.
 - Se tomó el promedio de los volúmenes de EDTA empleados en la titulación de las dos muestras.

- Contenido total de sólidos para *skim*
 - En un plato de fondo plano o caja petri con 60 mm de diámetro, se vertió $10,0 \pm 0,5$ g de *skim*.
 - Se colocó el plato en un horno y se calentó a $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta que la muestra haya perdido su blancura o por 2 h.
 - Se enfrió en un desecador y se pesó. Se regresó el plato al horno por 15 minutos con una temperatura de secado $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Se enfrió en un desecadora y se pesó. Se repitió el procedimiento de secado para intervalos de 15 minutos, según sea apropiado, hasta que la pérdida de masa entre pesos sucesivos sea menor que 1 mg.

- Contenido de hule seco para *skim*
 - Se pesó 10 ± 0.1 g de látex y 10 ± 0.1 g de *skim* en un *beacker* de 250 ml, verter 15 ml de agua y agitarla con cuidado.
 - Se añadió en un periodo de 5 minutos 50 ± 5 ml de ácido acético al 2 %, hasta que coagule, agitar mientras se agrega el ácido.
 - Se presionó suavemente la lámina de látex coagulado que se ha formado debajo del suero. Se colocó un vidrio de reloj sobre el recipiente y calentar en un baño de vapor durante 15 a 30 minutos. Si el suero sigue siendo lechoso, añadir 5 ml de 95 % (v/v) de etanol.
 - Se recuperó residuos de látex coagulado en el recipiente.
 - Se sumergió el látex coagulado en agua varias veces para quitar todo el ácido restante.
 - Se presionó el látex coagulado para eliminar el agua y obtener una lámina uniforme que no exceda 2 mm de espesor. Un método

adecuado es colocar el hule coagulado en una placa de vidrio y con una tapadera de vidrio de 45 mm de diámetro presionar alrededor de la circunferencia y después en el centro. Por último se enjuagó la lámina de látex coagulado.

- Se secó la lámina a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si la lámina se seca en un vidrio de reloj, gire con cuidado dos o tres veces durante las primeras horas de secado. Se enfrió en un desecador y se pesó. Repita el procedimiento de secado hasta que la pérdida sea menos de 5 mg después de calentar durante 15 minutos.

- Contenido total de sólidos según ISO 124:2014
 - Se vertió en una caja Petri $2,0 \pm 0,5$ g de látex.
 - Se colocó el plato en un horno y caliéntelo a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que la muestra haya perdido su blancura o por 3 h.
 - Se enfrió en un desecador y pesar. Se devolvió el plato al horno por 15 minutos con una temperatura de secado $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se enfrió en un desecador y se pesó. Se repitió el procedimiento de secado para intervalos de 15 minutos, según sea apropiado, hasta que la pérdida de masa entre pesos sucesivos sea menor que 1 mg.

- Contenido de hule seco según ISO 125:2011
 - Se pesó 10 ± 1 g de látex en una caja Petri de 100 mm de diámetro y 50 mm de profundidad, verter 20 ml de agua por el borde interior del contenedor y agitarla con cuidado.

- Se añadió en un periodo de 5 minutos 75 ± 5 ml de ácido acético al 2 %, hasta que coagule, se agitó mientras se agregaba el ácido.
 - Se presionó suavemente la lámina de látex coagulado que se ha formado debajo del suero. Se colocó en un vidrio de reloj sobre el recipiente y calentó en un baño de vapor durante 15 a 30 minutos. Si el suero sigue siendo lechoso, añadir 5 ml de 95 % (v/v) de etanol.
 - Se recuperó los residuos de látex coagulado en el recipiente.
 - Se sumergió el látex coagulado en agua varias veces para quitar todo el ácido restante.
 - Se presionó el látex coagulado para eliminar el agua y obtener una lámina uniforme que no exceda 2 mm de espesor. Un método adecuado es colocar el hule coagulado en una placa de vidrio y con una tapadera de vidrio de 45 mm de diámetro presionar alrededor de la circunferencia y después en el centro. Por último se enjuagó la lámina de látex coagulado.
 - Se secó la lámina a una temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Se enfrió en un desecador y se pesó. Se repitió el procedimiento de secado hasta que la pérdida era menor de 5 mg después de calentar durante 15 minutos.
- Determinación de NH_3 según ISO 125:2011
 - Se agregó 200 ml de agua en un *beacker* de 400 ml, 10 ml de solución estabilizante, solución de un estabilizador no iónico de tipo condensado de óxido de etileno. Se pesó entre 5 a 10 g de látex y seguir agitando.
 - Se introdujeron los electrodos de cristal del medidor de pH y con agitación continua, se añadió gota a gota desde una bureta ácido

sulfúrico o solución de ácido clorhídrico 0,1N, hasta que el pH se redujo a un valor de $6 \pm 0,05$.

- Determinación de VFA según ISO 506:1992
 - En un *beacker* se pesó 50 g de látex. Se añadió 50 ml de sulfato de amonio al 30 %, mientras se agita el látex.
 - Se colocó el *beacker* en un baño de maría a temperatura de 70 °C, y seguir removiendo agitando hasta que el látex se coagule. Se cubrió el *beacker* con un vidrio de reloj y se dejó en el baño durante un periodo de 15 minutos.
 - Se decantó el suero que emana a través de un filtro seco. Se transfirió el coagulo a un mortero y presione más suero amasando con un mortero.
 - Se filtró este suero a través del mismo filtro.
 - Se pipeteó 25 ml del suero filtrado colocar en un matraz de 50 ml y se adiciono 5 ml de ácido sulfúrico al 50 % y mezclarlo.
 - Se colocó 10 ml del suero filtrado en un condensador, se vertió una gota de antiespumante.
 - Se colocó un earlenmeyer en la punta del condensador para recuperar el destilado, hasta obtener 100 ml de destilado.
 - Se vertió unas gotas de indicador de azul de bromotimol o fenolftaleína.
 - Se tituló el destilado con una solución de hidróxido de bario 0.01N.

3.6. Recolección y ordenamiento de información

A continuación se detalla cada uno de los datos obtenidos en la medición de magnesio, contenido de hule seco (DRC) de *skim* y contenido total de

sólidos (TSC) de *skim*, así como parámetros fisicoquímicos del látex previo y posterior a la estandarización.

Tabla III. **Contenido de magnesio de látex de campo caracterizado**

Prueba	Peso látex de campo [kg]	Peso muestra [g]	EDTA [ml]	Mg [ppm]	Mg [%]
1	2 054	2,115	4,1	233,75	0,0002
2	2 091	2,106	3,8	216,96	0,0002
3	1 493	2,396	7,3	370,09	0,0004
4	1 631	2,064	6,7	395,97	0,0004
5	1 721	2,011	5,6	339,01	0,0003
6	1 721	2,054	9,9	587,07	0,0006
7	1 671	2,033	3,8	224,21	0,0002
8	1 785	2,240	3,6	193,94	0,0002
9	1 752	2,027	2,7	164,10	0,0002
10	1 725	2,050	3,4	198,88	0,0002
11	1 762	2,080	3,4	196,30	0,0002
12	1 900	2,120	4,3	247,24	0,0002
13	1 660	2,040	2,2	133,03	0,0001
14	1 823	2,035	4,5	268,20	0,0003
15	1 823	2,120	4,2	238,94	0,0002
16	1 805	2,123	5,5	314,27	0,0003

Fuente: elaboración propia.

Las demás tablas se encuentran en apéndice, a continuación se mencionan las tablas disponibles:

- Parámetros fisicoquímicos de entrada del látex de campo para su caracterización.

- Parámetros fisicoquímicos de salida del látex de concentrado para su caracterización.
- Contenido total de sólidos (TSC) de *skim*.
- Contenido de hule seco (DRC) de *skim*.
- Parámetros fisicoquímicos de entrada del látex de campo previo a su estandarización.
- Parámetros fisicoquímicos de salida del látex de concentrado previo a su estandarización.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En el presente estudio de investigación se tabularon y ordenaron datos para la determinación de cantidad de DAP y agua para la caracterización del látex, y eficiencias del proceso caracterizado, estandarizado y previo a la estandarización.

Tabla IV. **Kilogramos de DAP y litros de agua suave de solución, para preparación del látex de campo en base al contenido de magnesio**

Prueba	Peso látex de campo [kg]	Peso muestra [g]	EDTA [ml]	Mg [ppm]	Mg [%]	DAP [kg]	Agua suave para solución [L]
1	2 054	2,115	4,1	233,75	0,0002	2,61	13,04
2	2 091	2,106	3,8	216,96	0,0002	2,46	12,32
3	1 493	2,396	7,3	370,09	0,0004	3,00	15,01
4	1 631	2,064	6,7	395,97	0,0004	3,51	17,54
5	1 721	2,011	5,6	339,01	0,0003	3,17	15,85
6	1 721	2,054	9,9	587,07	0,0006	5,49	27,45
7	1 671	2,033	3,8	224,21	0,0002	2,04	10,18

Continuación de la tabla IV.

8	1 785	2,240	3,6	193,94	0,0002	1,88	9,40
9	1 752	2,027	2,7	164,10	0,0002	1,56	7,81
10	1 725	2,050	3,4	198,88	0,0002	1,86	9,32
11	1 762	2,080	3,4	196,3	0,0002	1,88	9,40
12	1 900	2,120	4,3	247,24	0,0002	2,55	12,76
13	1 660	2,040	2,2	133,03	0,0001	1,20	6,00
14	1 823	2,035	4,5	268,20	0,0003	2,66	13,28
15	1 823	2,120	4,2	238,94	0,0002	2,37	11,83
16	1 805	2,123	5,5	314,27	0,0003	3,08	15,41

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

A continuación se mencionan las tablas disponibles:

- Litros de agua suave a añadir con base en el contenido de total de sólidos del látex de campo a caracterizar.
- Contenido total de sólidos de látex de campo teórico.
- Parámetros fisicoquímicos del látex estandarizado.
- Eficiencia del proceso del látex caracterizado.
- Eficiencia del proceso previo a la estandarización.
- Eficiencia del látex estandarizado.

3.8. Análisis estadístico

Se determinó el error porcentual de los parámetros fisicoquímicos del látex, así como la descripción estadística para las variables fisicoquímicas y eficiencia. También se realizó un análisis Anova unifactorial para comparar los métodos utilizados.

3.8.1. Cálculos estadísticos

- Cálculo incertidumbre indirecta del contenido de magnesio

$$\Delta Mg = \frac{24300 * M}{W} * \Delta EDTA - \frac{24300 * M * EDTA}{W^2} * \Delta W \quad [\text{Ecuación 1}]$$

- Cálculo incertidumbre porcentual del contenido de magnesio

$$E = \frac{\Delta Mg}{Mg} * 100 \quad [\text{Ecuación 2}]$$

- Cálculo incertidumbre indirecta del contenido total de sólidos de *skim*

$$\Delta TSC = \frac{100}{W_m} * \Delta W - \frac{100}{W_m} * \Delta W + \frac{100 * (W_{caja} - W_{seco})}{W_m^2} * \Delta W \quad [\text{Ecuación 3}]$$

- Cálculo incertidumbre porcentual del contenido total de sólidos

$$E = \frac{\Delta TSC}{TSC} * 100 \quad [\text{Ecuación 4}]$$

- Cálculo incertidumbre indirecta del contenido de hule seco de *skim*

$$\Delta DRC = \frac{100}{W_{ms}} * \Delta W - \frac{100}{W_{ms}} * \Delta W - \frac{W_{mL}}{W_{ms}} \Delta DRC_c - \frac{DRC_c}{W_{ms}} - \left(\frac{100 W_{seco} - 100 W_{caja} - (DRC_c * W_{mL})}{W_{ms}^2} \right) * \Delta W$$

[Ecuación 5]

- Cálculo incertidumbre porcentual del contenido total de sólidos

$$E = \frac{\Delta DRC}{DRC} * 100 \quad [\text{Ecuación 6}]$$

- Cálculo de la media

$$\bar{X}_l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad [\text{Ecuación 7}]$$

- Cálculo de la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad [\text{Ecuación 8}]$$

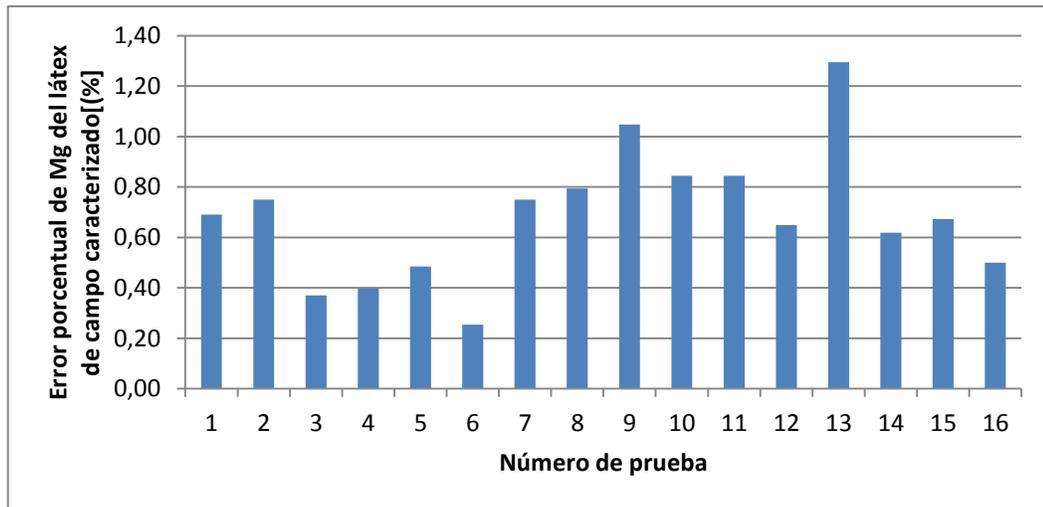
- Cálculo de la varianza

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad [\text{Ecuación 9}]$$

- Cálculo del error típico de la media

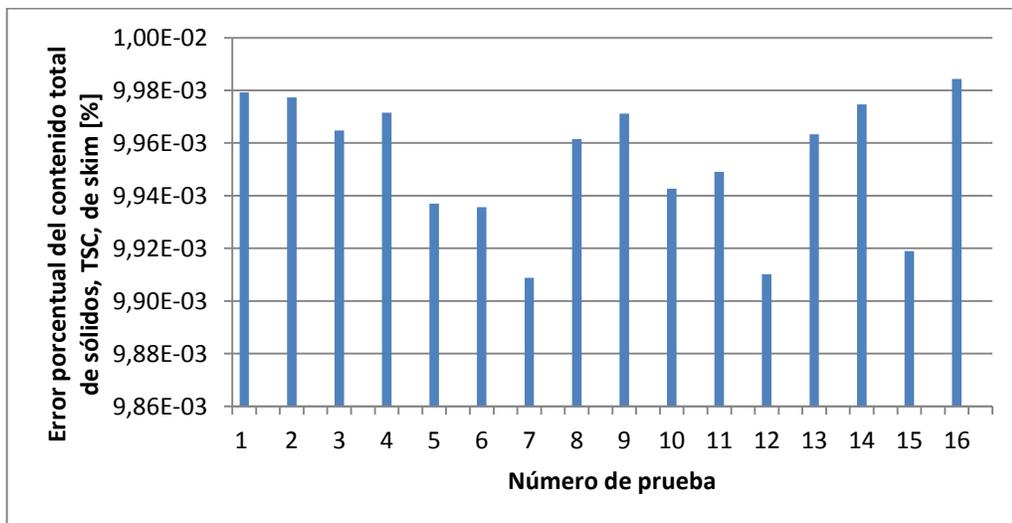
$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad [\text{Ecuación 10}]$$

Figura 2. **Error porcentual de magnesio del látex de campo caracterizado**



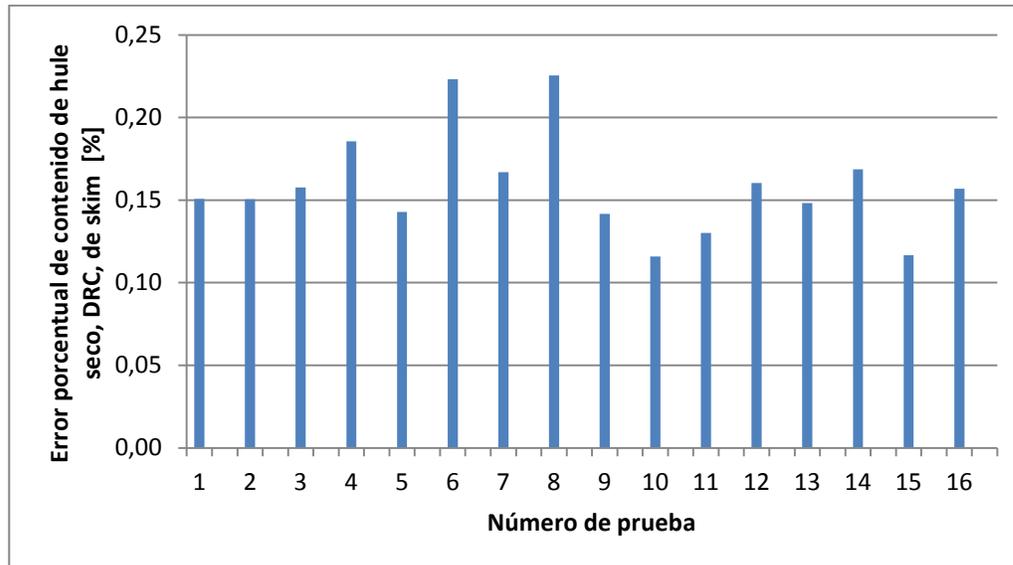
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Error porcentual del contenido total de sólidos de skim**



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Error porcentual del contenido de hule seco de *skim*



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Descripción estadística para variables fisicoquímicas de entrada del látex caracterizado

Variabes	TSC [%]	DRC [%]	NH ₃ [%]	VFA	Mg [ppm]
\bar{x}	31,44	29,00	0,49	0,020	270,12
σ	1,37E-02	1,32E-02	1,18E-01	1,37E-02	1,12E+02
σ^2	1,88E-04	1,74E-04	1,40E-02	1,28E-05	1,25E+04
<i>CV</i>	0,044	0,046	0,243	0,176	0,413
\tilde{x}	31,76	29,09	0,45	0,020	0,020
Máx.	33,89	31,47	0,74	0,027	587,07
Mín.	28,83	26,19	0,37	0,015	133,03
$\sigma_{\bar{x}}$	0,0034	0,0033	0,0296	0,0009	27,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Descripción estadística para variables fisicoquímicas de *skim* del látex caracterizado

Variabes	TSC [%]	DRC [%]
\bar{x}	8,08	4,86
σ	9,09E-03	9,16E-03
σ^2	8,3E-05	8,38E-05
<i>CV</i>	0,11	0,19
\tilde{x}	8,17	4,80
Máx.	9,57	6,62
Mín.	6,20	3,21
$\sigma_{\bar{x}}$	0,0023	0,0023

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Descripción estadística para las variables fisicoquímicas de salida del látex caracterizado

Variabes	TSC [%]	DRC [%]	NH ₃ [%]	VFA	Mg [ppm]
\bar{X}	62,41	61,16	0,75	0,012	45,33
σ	1,02E-02	1,05E-02	8,06E-02	1,83E-03	21,07
σ^2	1,04E-04	1,10E-04	6,50E-03	3,36E-06	444,11
<i>CV</i>	0,016	0,017	0,108	0,16	0,46
\tilde{x}	62,63	61,42	0,77	0,012	51,94
Máx.	63,89	62,69	0,87	0,02	70,12
Mín.	60,03	58,70	0,60	0,008	0,00
$\sigma_{\bar{x}}$	0,0025	0,0026	0,0202	0,0005	5,27

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Descripción estadística para la eficiencia del proceso de centrifugación

Eficiencia [%]	Látex caracterizado	Látex estandarizado	Látex previo a la estandarización
\bar{x}	80,90	78,76	84,15
σ	9,76	6,52	0,08
σ^2	95,34	42,49	0,01
CV	0,12	0,08	0,10
\tilde{x}	79,37	78,15	87,23
Máx.	99,23	87,26	93,88
Mín.	66,77	71,67	62,19
$\sigma_{\bar{x}}$	2,44	2,66	0,016

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Experimento unifactorial para el contenido de hule seco (DRC) concentrado

Factor A	
Núm. estandarizado	Estandarizado
61,81	60,44
60,49	60,45
61,48	60,12
61,76	60,29
62,02	60,50
61,92	60,78
62,07	
61,54	
61,40	
61,57	
61,16	
63,58	
61,53	
63,58	

Continuación de la tabla IX.

61,66	
59,57	
61,52	
61,38	
61,94	
62,02	
61,37	
61,15	
61,03	
62,16	
61,82	
60,24	
61,60	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Experimento unifactorial de la eficiencia**

Factor A	
Núm. estandarizado	Estandarizado
88,88	87,26
65,82	85,32
89,11	71,67
88,21	78,70
89,84	77,59
87,29	72,01
88,56	
85,61	
83,00	
87,24	
63,57	
91,17	
83,36	

Continuación de la tabla X.

89,26	
84,18	
83,33	
89,50	
80,54	
86,02	
81,46	
75,63	
89,17	
62,19	
86,43	
87,23	
91,56	
93,88	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis de varianza para el contenido de hule seco (DRC) concentrado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6,7925764	1	6,7925764	12,097941	0,0015191	4,1596151
Dentro de los grupos	17,40543	31	0,5614655			
Total	24,198006	32				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis de varianza para la eficiencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	142,595535	1	142,595535	$\frac{2,2284585}{2}$	0,14559751	4,1596151
Dentro de los grupos	1983,64095	31	63,9884177			
Total	2126,23648	32				

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados en gráficas y tablas de la estandarización de las variables fisicoquímicas del látex de campo. Esto previo al proceso de centrifugación para la obtención de látex concentrado con especificaciones técnicas internacionales.

Tabla XIII. **Caracterización del látex de campo por medio del contenido total de sólidos (TSC), contenido de hule seco (DRC), porcentaje de amoníaco (NH₃) y cantidad de magnesio (Mg)**

Prueba	Entrada				Skim			Salida				Eficiencia (%)	TSCo referencia
	TSCo [%]	DRCo [%]	NH3 [%]	Peso látex [kg]	TSCp [%]	DRCp [%]	Peso látex [kg]	TSCf [%]	DRCf [%]	NH3 [%]	Peso látex [kg]		
1	32,16%	29,94%	0,74	2054	8,27%	4,87%	1464,76	63,18%	61,89%	0,76	853,8	85,93	31,88
2	28,96%	26,73%	0,68	2091	8,27%	4,87%	1497,68	62,68%	61,52%	0,87	768,5	84,59	28,89
3	31,80%	29,10%	0,38	1493	8,13%	4,63%	465,88	60,03%	58,70%	0,85	727,8	98,33	
4	31,42%	29,02%	0,46	1631	8,20%	4,73%	932,01	62,92%	61,60%	0,69	693	90,19	31,24
5	32,20%	29,42%	0,47	1721	9,22%	5,15%	1107,50	61,84%	60,44%	0,77	731	87,26	
6	31,98%	29,08%	0,39	1721	8,07%	3,29%	539,76	62,57%	61,31%	0,79	810	99,23	31,95
7	33,02%	30,57%	0,41	1671	7,61%	4,33%	1417,14	61,57%	60,45%	0,78	721	85,32	
8	32,12%	29,71%	0,57	1785	6,20%	3,21%	3034,17	62,74%	61,59%	0,79	614	71,31	32,04
9	28,83%	26,19%	0,42	1752	8,06%	5,15%	2095,05	61,47%	60,12%	0,65	547	71,67	
10	29,85%	27,97%	0,37	1725	9,34%	6,62%	1299,50	63,27%	62,09%	0,69	622	80,04	29,57
11	31,71%	29,76%	0,54	1762	8,26%	5,74%	2041,84	63,53%	62,43%	0,85	614	73,10	31,35
12	32,32%	29,60%	0,63	1900	6,44%	4,58%	3592,84	63,89%	62,69%	0,60	599	66,77	31,88
13	30,89%	28,29%	0,55	1660	8,29%	4,98%	1640,82	61,46%	60,29%	0,77	613	78,70	
14	30,41%	28,40%	0,38	1823	7,25%	4,38%	1995,67	61,70%	60,50%	0,80	664	77,59	
15	33,89%	31,47%	0,43	1823	9,57%	6,49%	2019,86	63,55%	62,20%	0,72	668	72,42	33,51
16	31,43%	28,71%	0,37	1805	8,08%	4,73%	2296,88	62,17%	60,78%	0,68	614	72,01	

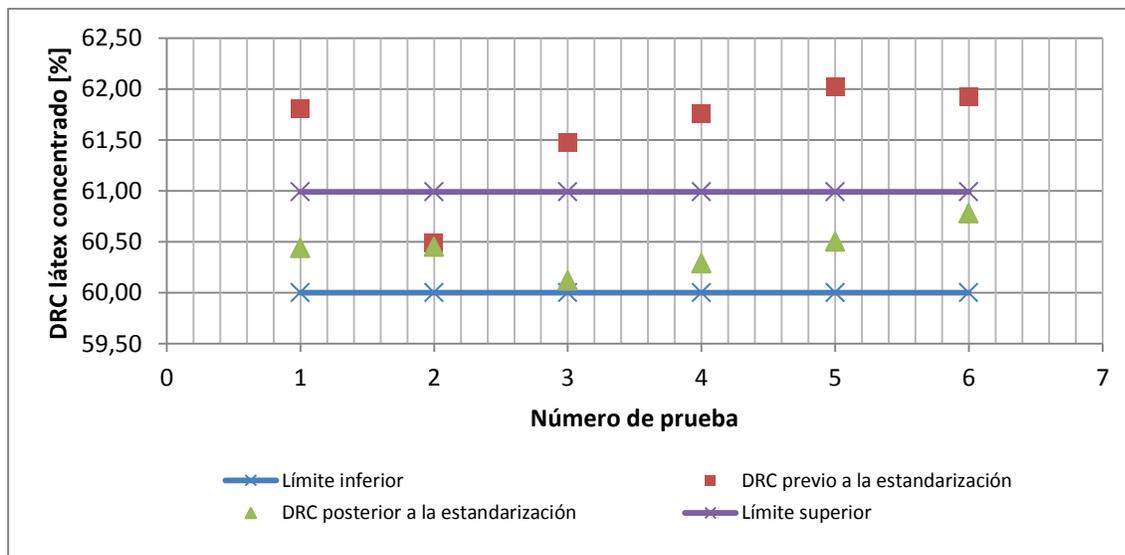
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Variables fisicoquímicas de ingreso del látex de campo estandarizado**

Parámetros de entrada para el látex de campo	Límite inferior	Límite superior
TSC [%]	30,00	32,20
DRC [%]	26,19	30,57
VFA	0,016	0,022
NH3 [%]	0,37	0,55

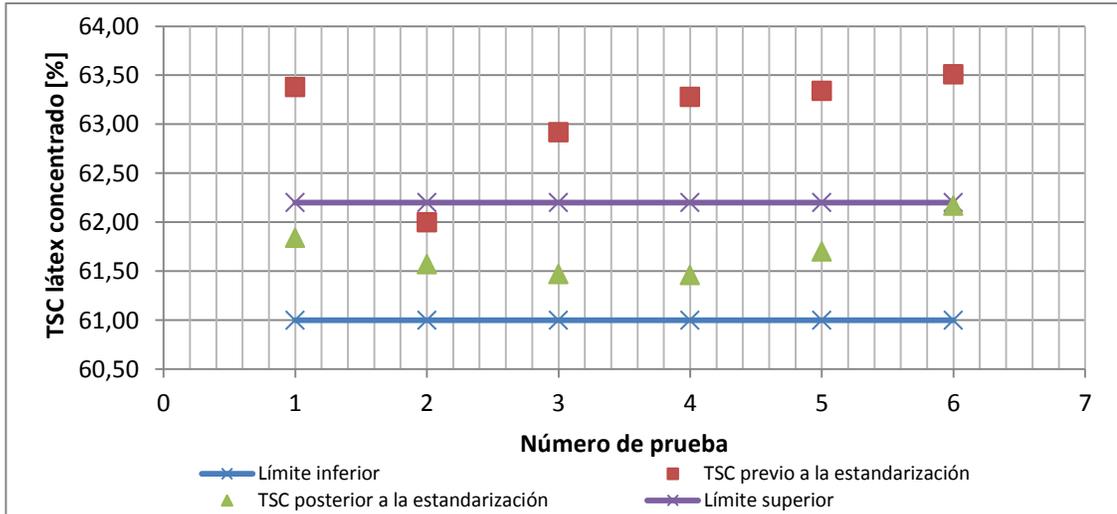
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Comparación del contenido de hule seco (DRC) del látex concentrado previo y posterior a la estandarización**



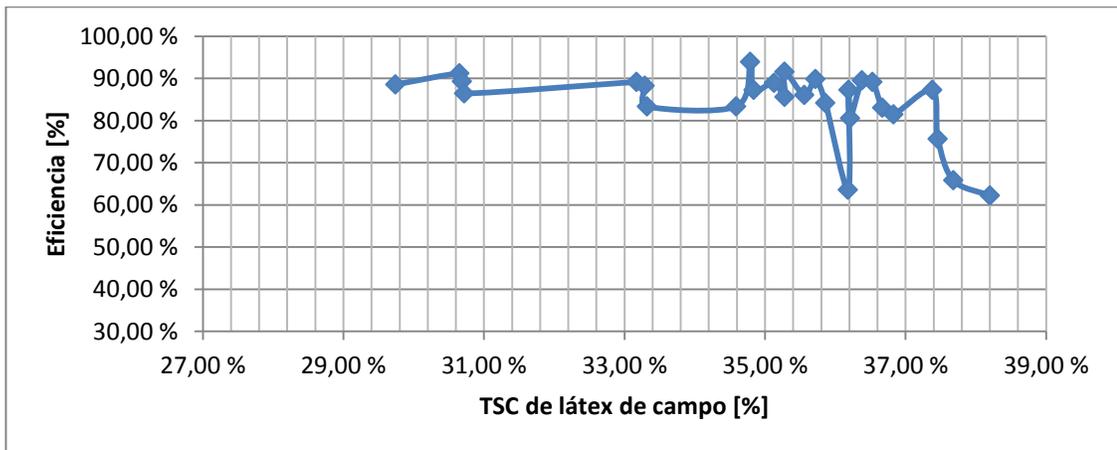
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Comparación del contenido total de sólidos (TSC) del látex concentrado previo y posterior a la estandarización**



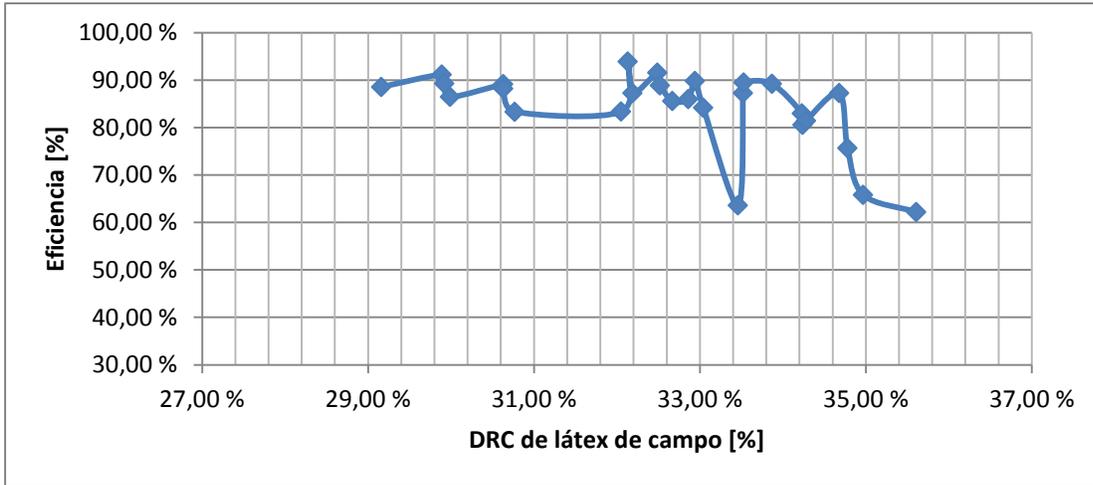
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Eficiencia en función del contenido total de sólidos (TSC) del látex de campo previo a la estandarización**



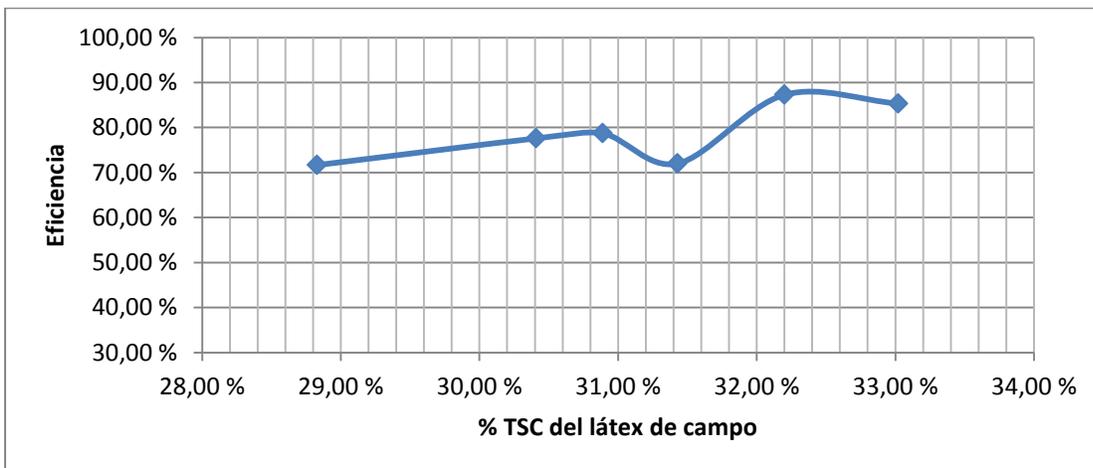
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Eficiencia en función del contenido de hule seco (DRC) del látex de campo previo a la estandarización**



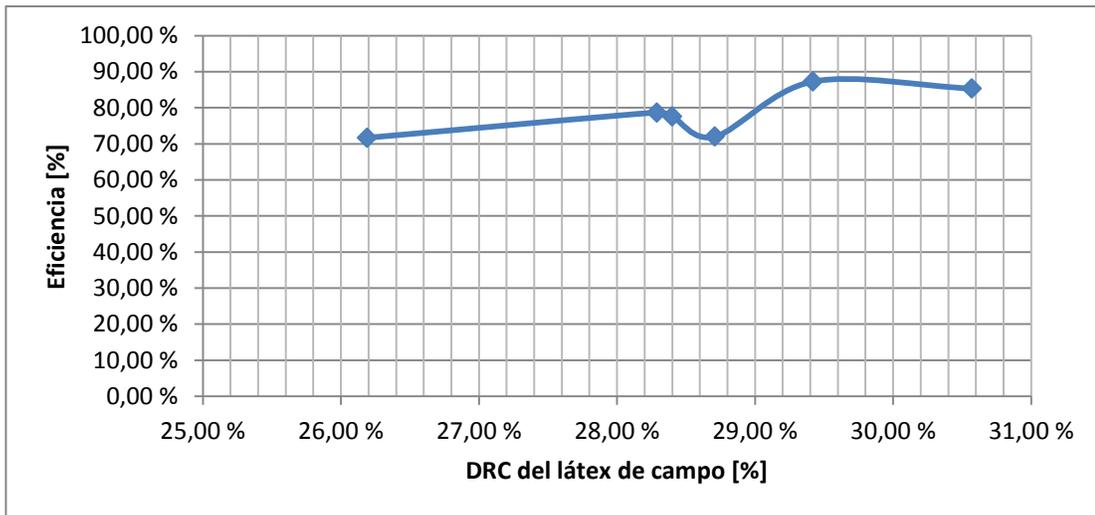
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Eficiencia en función de contenido total de sólidos (TSC) de látex de campo estandarizado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Eficiencia en función del contenido de hule seco (DRC) del látex de campo estandarizado**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo a nivel de Ejercicio Profesional Supervisado consistió en la estandarización de las variables fisicoquímicas del látex de campo. Esto previo al proceso de centrifugación, con base en un balance de masa y monitoreo de diferentes variables fisicoquímicas.

Se trabajó con el látex de campo a escala piloto, en donde se monitoreó las variables de entrada (TSC, DRC, Mg, VFA y NH_3). A partir del magnesio se calculó la cantidad de DAP a agregar al látex para su preparación. También se monitoreó el TSC y DRC de las pérdidas en el proceso de centrifugación conocido como *skim* así como las variables fisicoquímicas de salida del látex concentrado. Esto para caracterizar el látex de campo y realizar un balance de masa con el que se calculó el contenido total de sólidos de referencia para obtener un contenido de hule seco del látex concentrado del 60,00 %.

La caracterización del látex de campo se encuentra en la tabla XIII en la que se obtuvo un contenido total de sólidos de referencia en un rango de 28,84 a 33,51 % el cual está en el rango de contenido total de sólidos real estandarizado, así como en el rango para el procesamiento óptimo de la eficiencia el cual es un TSC mínimo de 32,50 %. Y se obtuvo una eficiencia en un rango de 66,77 a 99,23 % la cual tiene una variación amplia lo que se puede deber al tamaño de tornillo utilizado en la centrífuga.

A partir de la caracterización del látex de campo se realizaron varias pruebas en las que se llevó el contenido total de sólidos de látex de campo a los rangos del TSC de referencia de la caracterización. Esto por medio de la

adición de agua suave hasta que se obtuvo un contenido de hule seco (DRC) de látex concentrado con un valor entre 60,00 a 60,90 %.

Las variables fisicoquímicas de entrada estandarizadas se pueden observar en la tabla XIV, en lo que se obtuvo un contenido total de sólidos (TSC) de 30,00 a 32,20 % el cual es un rango menor que el de referencia. Respecto a las otras variables todas se encuentran en el rango que utiliza actualmente la empresa. Se llevó el contenido total de sólidos del látex de campo a este rango por medio de la adición de agua suavizada. Esto para evitar la adición de partículas que no son hule al látex y no afectar sus propiedades.

Se monitorearon las variables fisicoquímicas de entrada y salida del proceso actual con lo cual se determinó la eficiencia del mismo. A partir de ello se compararon las propiedades de entrada previo y posterior a la estandarización lo cual se puede encontrar en la figuras 5 y 6 en estas se puede observar cómo se tiene una diferencia significativa en los dos procedimientos.

En la figura 5 se tiene la comparación del contenido de hule seco del látex concentrado en donde el proceso estandarizado se mantiene con un DRC de 60,12 a 60,78 %. Previo a la estandarización solo un punto entra en las especificaciones técnicas internacionales requeridas con un DRC de 60,45 %.

En la figura 6 se tiene la comparación de contenido total de sólidos del látex concentrado. En el proceso estandarizado se tiene un rango de 61,46 a 62,17 %, al igual que en la figura 5 en el proceso previo a la estandarización solo un punto está dentro del rango con un 62,02 %.

En la figura 7 y 9 se tiene una relación de la eficiencia en función del contenido total de sólidos de látex de campo previo y posterior a la estandarización respectivamente, en las dos figuras se tiene una tendencia aleatoria. En la primera figura se tiene una eficiencia máxima de 93,88 % con un TSC de 34,79 % y en la segunda figura una eficiencia de 87,26 % con una TSC de 32,20 %.

En la figura 8 y 10 se tiene una relación de la eficiencia en función del contenido de hule seco de látex de campo previo y posterior a la estandarización respectivamente, en los dos casos se tiene puntos dispersos.

Para tener un proceso con rendimiento óptimo se debe tener un DRC mínimo de 30,00 %. Previo a la estandarización se tiene una eficiencia máxima de 93,88 por ciento con un DRC de 32,13 %, posterior a la estandarización se tiene una eficiencia máxima 87,26 % con un DRC de 29,42 %. En ambos casos después de ellos se ve una disminución de la eficiencia.

En la figura 2 se presenta el error de incertidumbre porcentual del magnesio en el látex de campo caracterizado en lo que se obtuvo un error de 0,25 % hasta 1,29 %, lo que indica que los valores obtenidos son aceptables. En la figura 3 y 4 se muestra el error de incertidumbre porcentual del contenido total de sólidos de *skim* y contenido de hule seco de *skim* respectivamente, con lo que se obtuvo valores de 0,01 % en el primer caso y en el segundo caso 0,12 % hasta 0,22 %, por lo que los valores obtenidos son confiables.

En la tabla V se muestra la descripción estadística de los parámetros fisicoquímicos de entrada del látex caracterizado, en lo que se observa que la desviación es de 0,01 para el contenido de hule seco y contenido total de

sólidos, en los otros parámetros está es más alta pero igualmente aceptable, por lo que la dispersión de los puntos no se aleja de la media.

Para el coeficiente de variación se tienen un coeficiente de variación de 0,044 para el contenido total de sólidos, 0,046 para contenido de hule seco, 0,243 para el porcentaje de amónico, 0,176 para los ácidos volátiles grasos y 0,413 para la cantidad de magnesio, lo que da valores menores que uno e indica que existe una homogeneidad en los valores. En el caso del error típico de la media todos tienen un valor aceptable excepto el magnesio por lo que los datos obtenidos están cerca del valor de la media.

En la tabla VI se muestra la descripción estadística de los parámetros fisicoquímicos calculados para *skim*, en lo que se obtuvo para el contenido total de sólidos una desviación de 0,009 y un coeficiente de variación de 0,110. Pero para el contenido de hule seco hay una desviación de 0,009 y un coeficiente de variación de 0,190 en ambos casos se tienen una incerteza que representa una homogeneidad en los valores. Para el error típico de la media se tiene un valor de 0,002 por lo que los datos se acercan mucho a la media.

En la tabla VII se presenta la descripción estadística de las variables fisicoquímicas de salida del látex caracterizado en lo que se observa que para la desviación estándar todos tienen una incerteza aceptable a excepción del magnesio. Esto se ve reflejado en el coeficiente de variación el cual es de 0,46 y en el error típico de la media que da un valor de 5,27 por lo que se tienen valores muy dispersos. Para todos los demás parámetros estos valores nos indican que se tienen datos homogéneos y confiables.

En la tabla VIII se tiene la descripción estadística de la eficiencia del látex caracterizado, estandarizado y previo a la estandarización. Para los primeros

dos casos se tienen una desviación más alta que el látex previo a la estandarización, pero con valores igualmente aceptables. En el caso del coeficiente de variación se tienen valores de 0,08 a 0,12 por lo que se tiene valores homogéneos. Y en el error típico de la media se tiene un valor de 0,016 para el látex previo al proceso de estandarización en los otros dos casos los valores están más dispersos respecto a la media.

En la tabla XI se muestra el análisis unifactorial de varianza para el contenido de hule seco (DRC) del látex concentrado en el que se tiene un valor de F de 12,098 y un F crítico de 4,16. El primer valor es mayor que el crítico hay una diferencia significativa entre los dos métodos que se están comparando, en este caso el método estandarizado y previo a la estandarización.

En la tabla XII se muestra en análisis unifactorial de varianza para la eficiencia del proceso previo a la estandarización y estandarizado con lo que se obtuvo un valor de F de 2,23 y un F crítico de 4,16 al ser mayor el F crítico indica que no existe diferencia significativa entre los dos métodos.

Se lograron establecer rangos de entrada del contenido total de sólidos (TSC) de látex de campo, así como el procedimiento para la preparación de la materia prima, para obtener un látex concentrado con un contenido de hule seco (DRC) de 60,00 %.

6. LOGROS OBTENIDOS

A continuación se presentan los logros obtenidos durante los seis meses de realización del Ejercicio Profesional Supervisado, EPS, en Industrias de Látex, S. A.

1. Se desarrolló un procedimiento para la preparación del látex de campo. Para la adición de DAP en función del contenido de magnesio y la adición de agua suavizada en función del contenido total de sólidos del látex.
2. Se aportaron los datos de los rangos de entrada de las variables fisicoquímicas del látex de campo para obtener un látex concentrado con un DRC al 60 %.
3. Se desarrolló una metodología para el cálculo de la eficiencia del proceso de centrifugación.

CONCLUSIONES

1. En la caracterización del látex los valores de referencia de entrada del contenido total de sólidos (TSC) se encuentran en el rango de 28,890 a 33,510 % obteniendo con ello una eficiencia de 71,310 a 93,330 %.
2. El porcentaje de adición del químico DAP al látex de campo debe encontrarse en función del contenido de magnesio, siendo cada preparación de pila diferente.
3. Los parámetros fisicoquímicos de entrada del látex de campo estandarizado son TSC 30,000 a 32,000 %, DRC 26,190 a 30,570 %, VFA 0,016 a 0,022 y NH_3 0,370 a 0,550 %.
4. Las diferencias obtenidas en la comparación de DRC y TSC del látex concentrado previo y posterior a la estandarización son significativas, ya que su F estadística, 12,098, es mayor que la F crítica, 4,159.
5. La eficiencia en función de los parámetros de calidad de látex de campo muestran una tendencia aleatoria, tanto previo y posterior a la estandarización.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar el cálculo utilizado actualmente para la determinación de eficiencia del proceso de centrifugación de látex natural.
2. Realizar la dilución de látex de campo únicamente con agua suavizada, para evitar la adición de partículas no hule al producto.
3. Determinar los kilogramos de DAP a añadir en función del contenido de magnesio del látex de campo.
4. Realizar un estudio en donde se relacione la eficiencia del proceso en función del número de tornillo utilizado por la centrífuga.

BIBLIOGRAFÍA

1. Banco de Guatemala. *Valor (CIF) de las importaciones y valor (FOB) de las exportaciones por producto de la industria agropecuaria, extractiva y manufactura*. [en línea]. <http://banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/comercio/por_producto/prod0207DB001.htm&e=52791>. [Consulta: 1 de julio de 2015].
2. CAHUEQUE ACOSTA, Roberto Antonio. *Evaluación de dos agentes coagulantes para látex natural, en la fabricación por inmersión de guate tipo doméstico*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 91 p.
3. C.K., John, et al. *LA-TZ Latex Concentrate*. Malasia: Nis Ekpress, 1981. 22 p.
4. CHEN, Fong, et al. *Latex Concentrate Production and Introduction to Latex Product Manufacture*. Malasia: Instituto de Investigación de Hule de Malasia, 1992. 191 p.
5. Grupo Introsa. *Especificaciones de calidad genéricas látex de hule natural concentrado- centrifugado*. [en línea]. <<http://www.grupointrosa.com/index.php/es/first-es/productos-inlatsa-es>>. [Consulta: 8 de junio de 2015].

6. MORALES PAZ, Lester Roberto. *Estudio del comportamiento del módulo de elasticidad de una película de látex natural centrifugado (hevea brasiliensis), variando las concentraciones de los agentes vulcanizadores al ser fabricado por el método de inmersión en coagulante*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 95 p.
7. PERRY, Robert H, GREEN, Don. *Manual del Ingeniero Químico volumen III*. 7a ed. España: McGraw Hill, 2001. 89 p.
8. SALGUERO GARCÍA, Carlos Remberto. *Estudio del comportamiento de la maduración del látex natural, producto en Guatemala, centrifugado, de alto amonio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991. 45 p.

APÉNDICES

1. Parámetros fisicoquímicos de entrada del látex de campo para su caracterización

Prueba	TSCo [%]	DRCo [%]	NH3 [%]	VFA	Mg [ppm]	Peso látex [kg]
1	32,16%	29,94%	0,74	0,020	233,75	2054
2	28,96%	26,73%	0,68	0,021	216,97	2091
3	31,80%	29,10%	0,38	0,027	370,09	1493
4	31,42%	29,02%	0,46	0,026	395,97	1631
5	32,20%	29,42%	0,47	0,022	339,01	1721
6	31,98%	29,08%	0,39	0,025	587,07	1721
7	33,02%	30,57%	0,41	0,018	224,21	1671
8	32,12%	29,71%	0,57	0,019	193,94	1785
9	28,83%	26,19%	0,42	0,023	164,10	1752
10	29,85%	27,97%	0,37	0,021	198,88	1725
11	31,71%	29,76%	0,54	0,015	196,30	1762
12	32,32%	29,60%	0,63	0,019	247,24	1900
13	30,89%	28,29%	0,55	0,018	133,03	1660
14	30,41%	28,40%	0,38	0,016	268,20	1823
15	33,89%	31,47%	0,43	0,019	238,94	1823
16	31,43%	28,71%	0,37	0,016	314,27	1805

Fuente: elaboración propia, con base en técnicas cuantitativas.

2. **Parámetros fisicoquímicos de salida del látex concentrado para su caracterización**

Prueba	TSCf [%]	DRCf [%]	NH3 [%]	VFA	Mg [ppm]	Peso látex [kg]
1	63,18%	61,89%	0,76	0,011	0,00	853,8
2	62,68%	61,52%	0,87	0,014	0,00	768,5
3	60,03%	58,70%	0,85	0,014	67,94	727,8
4	62,92%	61,60%	0,69	0,011	53,72	693
5	61,84%	60,44%	0,77	0,013	62,27	731
6	62,57%	61,31%	0,79	0,012	30,13	810
7	61,57%	60,45%	0,78	0,013	51,70	721
8	62,74%	61,59%	0,79	0,008	45,20	614
9	61,47%	60,12%	0,65	0,012	40,38	547
10	63,27%	62,09%	0,69	0,012	70,12	622
11	63,53%	62,43%	0,85	0,010	52,17	614
12	63,89%	62,69%	0,60	0,010	52,17	599
13	61,46%	60,29%	0,77	0,013	62,28	613
14	61,70%	60,50%	0,80	0,010	49,55	664
15	63,55%	62,20%	0,72	0,011	30,20	668
16	62,17%	60,78%	0,68	0,015	57,38	614

Fuente: elaboración propia, con base en técnicas cuantitativas.

3. **Contenido total de sólidos (TSC) de skim**

Prueba	Muestra	Peso de caja petri [g]	Peso muestra [g]	Peso seco [g]	TSC [%]	Promedio TSC [%]
1	A	45,038	10,043	45,875	8,33	8,27
		45,038	10,043	45,869	8,27	
		45,038	10,043	45,869	8,27	

Continuación de apéndice 3.

	B	45,691	10,002	46,521	8,30	
		45,691	10,002	46,518	8,27	
		45,691	10,002	46,518	8,27	
2	A	42,120	10,020	42,955	8,33	8,27
		42,120	10,020	42,949	8,27	
		42,120	10,020	42,949	8,27	
	B	44,490	10,033	45,322	8,29	
		44,490	10,033	45,320	8,27	
		44,490	10,033	45,320	8,27	
3	A	40,845	10,042	41,682	8,33	8,13
		40,845	10,042	41,660	8,12	
		40,845	10,042	41,660	8,12	
	B	45,890	10,018	46,725	8,33	
		45,890	10,018	46,706	8,15	
		45,890	10,018	46,706	8,15	
4	A	45,720	10,037	46,548	8,25	8,20
		45,720	10,037	46,543	8,20	
		45,720	10,037	46,543	8,20	
	B	40,938	10,016	41,768	8,29	
		40,938	10,016	41,759	8,20	
		40,938	10,016	41,759	8,20	
5	A	29,787	10,034	30,711	9,21	9,22
		29,787	10,034	30,710	9,20	
		29,787	10,034	30,710	9,20	
	B	37,574	10,089	38,517	9,35	
		37,574	10,089	38,507	9,25	
		37,574	10,089	38,507	9,25	
6	A	49,688	10,073	50,513	8,19	8,07
		49,688	10,073	50,500	8,06	
		49,688	10,073	50,500	8,06	
	B	44,307	10,060	45,131	8,19	
		44,307	10,060	45,119	8,07	
		44,307	10,060	45,119	8,07	
7	A	43,087	10,086	43,866	7,72	7,61
		43,087	10,086	43,854	7,60	
		43,087	10,086	43,854	7,60	

Continuación de apéndice 3.

	B	46,148	10,098	46,924	7,68	
		46,148	10,098	46,917	7,62	
		46,148	10,098	46,917	762	
8	A	42,942	10,018	43,576	6,33	6,20
		42,942	10,018	43,564	6,21	
		42,942	10,018	43,564	6,21	
	B	42,532	10,053	43,158	6,23	
		42,532	10,053	43,154	6,19	
		42,532	10,053	43,154	6,19	
9	A	44,985	10,046	45,801	8,12	8,06
		44,985	10,046	45,794	8,05	
		44,985	10,046	45,794	8,05	
	B	45,281	10,014	46,088	8,06	
		45,281	10,014	46,088	8,06	
		45,281	10,014	46,088	8,06	
10	A	43,350	10,083	44,292	9,34	9,34
		43,350	10,083	44,290	9,32	
		43,350	10,083	44,290	9,32	
	B	45,661	10,039	46,605	9,40	
		45,661	10,039	46,600	9,35	
		45,661	10,039	46,600	9,35	
11	A	49,688	10,081	50,520	8,25	8,26
		49,688	10,081	50,516	8,21	
		49,688	10,081	50,516	8,21	
	B	44,985	10,031	45,826	8,38	
		44,985	10,031	45,818	8,30	
		44,985	10,031	45,818	8,30	
12	A	44,985	10,098	45,649	6,58	6,44
		44,985	10,098	45,649	6,58	
		44,985	10,098	45,649	6,58	
	B	44,274	10,078	44,909	6,30	
		44,274	10,078	44,909	6,30	
		44,274	10,078	44,909	6,30	
13	A	46,748	10,034	47,583	8,32	8,29
		46,748	10,034	47,581	8,30	
		46,748	10,034	47,581	8,30	

Continuación de apéndice 3.

	B	46,008	10,045	46,840	8,28	
		46,008	10,045	46,840	8,28	
		46,008	10,045	46,840	8,28	
14	A	46,750	10,038	47,475	7,22	7,25
		46,750	10,038	47,475	7,22	
		46,750	10,038	47,475	7,22	
	B	45,282	10,015	46,010	7,27	
		45,282	10,015	46,010	7,27	
		45,282	10,015	46,010	7,27	
15	A	45,292	10,073	46,255	9,56	9,57
		45,292	10,073	46,245	9,46	
		45,292	10,073	46,245	9,46	
	B	45,889	10,087	46,884	9,86	
		45,889	10,087	46,865	9,68	
		45,889	10,087	46,865	9,68	
16	A	45,661	10,017	46,482	8,20	8,08
		45,661	10,017	46,471	8,09	
		45,661	10,017	46,471	8,09	
	B	45,892	10,011	46,710	8,17	
		45,892	10,011	46,701	8,08	
		45,892	10,011	46,701	8,08	

Fuente: elaboración propia con base en técnicas cuantitativas.

4. Contenido de hule seco (DRC) del *skim*

Prueba	Muestra	Peso de caja Petri [g]	Peso látex [g]	Peso skim [g]	Peso seco [g]	DRC conocido [%]	DRC [%]	Promedio DRC [%]
1	A	45,466	10,062	10,041	52,068	60,72	4,90	4.87
		45,466	10,062	10,041	52,060	60,72	4,82	
		45,466	10,062	10,041	52,060	60,72	4,82	

Continuación de apéndice 4.

	B	45,157	10,031	10,041	51,746	60,72	4,96	
		45,157	10,031	10,041	51,741	60,72	4,91	
		45,157	10,031	10,041	51,741	60,72	4,91	
2	A	30,567	10,035	10,022	37,132	60,55	4,88	4,87
		30,567	10,035	10,022	37,130	60,55	4,86	
		30,567	10,035	10,022	37,130	60,55	4,86	
	B	37,576	10,005	10,031	44,128	60,55	4,92	
		37,576	10,005	10,031	44,124	60,55	4,88	
		37,576	10,005	10,031	44,124	60,55	4,88	
3	A	46,736	10,064	10,002	53,337	60,48	5,14	4,63
		46,736	10,064	10,002	53,300	60,48	4,77	
		46,736	10,064	10,002	53,300	60,48	4,77	
	B	45,766	10,015	10,053	52,280	60,48	4,55	
		45,766	10,015	10,053	52,275	60,48	4,50	
		45,766	10,015	10,053	52,275	60,48	4,50	
4	A	45,255	10,018	10,062	51,793	60,45	4,79	4,73
		42,255	10,018	10,062	51,786	60,45	4,72	
		42,255	10,018	10,062	51,786	60,45	4,72	
	B	40,123	10,008	10,017	46,651	60,45	4,77	
		40,123	10,008	10,017	46,648	60,45	4,74	
		40,123	10,008	10,017	46,648	60,45	4,74	
5	A	45,287	10,038	10,014	51,880	60,54	5,15	5,15
		45,287	10,038	10,014	51,878	60,54	5,13	
		45,287	10,038	10,014	51,878	60,54	5,13	
	B	44,881	10,026	10,030	51,478	60,54	5,26	
		44,881	10,026	10,030	51,470	60,54	5,18	
		44,881	10,026	10,030	51,470	60,54	5,18	
6	A	45,168	10,040	10,018	51,764	62,37	3,33	3,29
		45,168	10,040	10,018	51,756	62,37	3,25	
		45,168	10,040	10,018	51,756	62,37	3,25	
	B	45,765	10,026	10,095	52,362	62,37	3,41	
		45,765	10,026	10,095	52,353	62,37	3,32	
		45,765	10,026	10,095	52,353	62,37	3,32	
7	A	42,767	10,056	10,070	49,272	60,35	4,33	4,33
		42,767	10,056	10,070	49,264	60,35	4,25	
		42,767	10,056	10,070	49,264	60,35	4,25	

Continuación de apéndice 4.

	B	44,442	10,015	10,061	50,933	60,35	4,44	
		44,442	10,015	10,061	50,930	60,35	4,41	
		44,442	10,015	10,061	50,930	60,35	4,41	
8	A	44,984	10,028	10,081	51,459	61,35	3,20	3,21
		44,984	10,028	10,081	51,458	61,35	3,19	
		44,984	10,028	10,081	51,458	61,35	3,19	
	B	42,134	10,014	10,014	48,604	61,35	3,26	
		42,134	10,014	10,014	48,600	61,35	3,22	
		42,134	10,014	10,014	48,600	61,35	3,22	
9	A	31,730	10,007	10,079	38,285	60,33	5,14	5,15
		31,730	10,007	10,079	38,281	60,33	5,10	
		31,730	10,007	10,079	38,281	60,33	5,10	
	B	38,600	10,021	10,070	45,175	60,33	5,26	
		38,600	10,021	10,070	45,170	60,33	5,21	
		38,600	10,021	10,070	45,170	60,33	5,21	
10	A	45,121	10,025	10,077	52,051	62,40	6,69	6,62
		45,121	10,025	10,077	52,048	62,40	6,66	
		45,121	10,025	10,077	52,048	62,40	6,66	
	B	42,537	10,023	10,022	49,450	62,40	6,57	
		42,537	10,023	10,022	49,50	62,40	6,57	
		42,537	10,023	10,022	49,450	62,40	6,57	
11	A	46,927	10,035	10,087	53,645	61,19	5,73	5,74
		46,927	10,035	10,087	53,645	61,19	5,73	
		46,927	10,035	10,087	53,645	61,19	5,73	
	B	42,770	10,090	9,997	49,520	61,19	5,76	
		42,770	10,090	9,997	49,520	61,19	5,76	
		42,770	10,090	9,997	49,520	61,19	5,76	
12	A	40,848	10,004	10,073	47,441	61,22	4,65	4,58
		40,848	10,004	10,073	47,441	61,22	4,65	
		40,848	10,004	10,073	47,441	61,22	4,65	
	B	38,600	10,023	10,046	45,189	61,22	4,51	
		38,600	10,023	10,046	45,189	61,22	4,51	
		38,600	10,023	10,046	45,189	61,22	4,51	
13	A	42,134	10,017	10,078	48,773	61,22	5,03	4,98
		42,134	10,017	10,078	48,773	61,22	5,03	
		42,134	10,017	10,078	48,773	61,22	5,03	

Continuación de apéndice 4.

	B	35,506	10,063	10,048	42,162	61,22	4,93	
		35,506	10,063	10,048	42,162	61,22	4,93	
		35,506	10,063	10,048	42,162	61,22	4,93	
14	A	38,600	10,073	10,022	45,230	61,66	4,18	4,38
		38,600	10,073	10,022	45,230	61,66	4,18	
		38,600	10,073	10,022	45,230	61,66	4,18	
	B	35,505	10,008	10,087	42,139	61,66	4,59	
		35,505	10,008	10,087	42,138	61,66	4,58	
		35,505	10,008	10,087	42,138	61,66	4,58	
15	A	43,809	10,016	10,085	50,654	61,66	6,63	6,49
		43,809	10,016	10,085	50,648	61,66	6,58	
		43,809	10,016	10,085	50,648	61,66	6,58	
	B	43,349	10,023	10,031	50,177	61,66	6,46	
		43,349	10,023	10,031	50,172	61,66	6,41	
		43,349	10,023	10,031	50,172	61,66	6,41	
16	A	45,170	10,035	10,082	51,854	61,66	4,92	4,73
		45,170	10,035	10,082	51,842	61,66	4,80	
		45,170	10,035	10,082	51,842	61,66	4,80	
	B	43,163	10,058	10,024	49,843	61,66	4,77	
		43,163	10,058	10,024	49,831	61,66	4,65	
		43,163	10,058	10,024	49,831	61,66	4,65	

Fuente: elaboración propia, con base en técnicas cuantitativas.

5. **Parámetros fisicoquímicos de entrada del látex de campo, previo a la estandarización del proceso**

Prueba	Peso látex [kg]	TSC [%]	DRC [%]	VFA	NH ₃ [%]	Mg [ppm]
1	71 505	35,13	32,52	0,026	0,60	216,50
2	69 398	37,68	34,97	0,021	0,67	190,28
3	76 605	33,17	30,63	0,027	0,75	57,70
4	76 419	33,29	30,63	0,025	0,72	174,75
5	128 264	35,72	32,94	0,027	0,60	171,77

Continuación de apéndice 5.

6	69 182	36,19	33,52	0,024	0,52	205,08
7	60 097	29,74	29,16	0,062	0,70	285,14
8	66 440	35,28	32,67	0,024	0,56	195,40
9	125 359	36,67	34,23	0,022	0,67	167,87
10	74 565	34,84	32,19	0,022	0,58	182,65
11	100 068	36,18	33,46	0,022	0,64	217,20
12	79 016	30,65	29,89	0,058	0,55	80,21
13	75 307	34,59	32,05	0,027	0,67	205,25
14	81 983	30,69	29,92	0,059	0,42	96,96
15	74 937	35,86	33,04	0,021	0,61	187,79
16	64 055	33,32	30,77	0,028	0,59	74,35
17	44 239	36,38	33,53	0,023	0,62	204,59
18	67 131	36,21	34,24	0,023	0,75	135,61
19	133 612	35,56	32,86	0,028	0,61	163,77
20	49 524	36,83	34,28	0,020	0,51	181,34
21	120 259	37,46	34,78	0,021	0,69	170,12
22	51 411	36,53	33,87	0,021	0,57	151,53
23	69 928	38,20	35,61	0,018	0,52	239,25
24	137 812	30,72	29,99	0,049	0,30	142,95
25	55 367	37,38	34,68	0,018	0,55	189,87
26	69 278	35,28	32,49	0,024	0,57	171,56
27	124 522	34,79	32,13	0,021	0,58	186,53

Fuente: elaboración propia, con base en técnicas cuantitativas.

6. Variables fisicoquímicas del látex concentrado, previo a la estandarización del proceso

Prueba	Peso látex [kg]	TSC [%]	DRC [%]	VFA	NH3 [%]	KOH	MST [s]	Mg [ppm]
1	33 438	63,38	61,81	0,016	0,68	0,43	135	100,5
2	26 407	62,00	60,49	0,014	0,87	0,43	42	47,36
3	34 010	62,92	61,48	0,013	0,72	0,47	69	80,47

Continuación de apéndice 6.

4	33 430	63,28	61,76	0,017	0,68	0,46	136	64,31
5	61 200	63,34	62,02	0,014	0,73	0,44	38	77,27
6	32 690	63,51	61,92	0,012	0,65	0,44	36	59,74
7	25 002	62,63	62,07	0,021	0,69	0,34	1 325	50,25
8	30 194	63,07	61,54	0,015	0,69	0,42	51	108,19
9	58 003	62,85	61,40	0,014	0,79	0,48	144	45,98
10	34 010	62,77	61,57	0,014	0,3	0,49	41	63,33
11	34 800	62,61	61,16	0,015	0,70	0,50	137	48,64
12	33 867	64,12	63,58	0,019	0,68	0,31	2 024	58,97
13	32 699	62,99	61,53	0,016	0,70	0,48	79	35,13
14	34 436	63,93	63,58	0,017	0,70	0,30	2 381	79,62
15	33 803	63,19	61,66	0,013	0,79	0,45	85	51,16
16	27 571	61,02	59,57	0,013	0,71	0,49	73	65,48
17	21 580	63,01	61,52	0,014	0,33	0,49	70	116,92
18	30 161	62,88	61,38	0,013	0,77	0,42	62	30,80
19	60 974	63,47	61,94	0,014	0,64	0,43	74	60,57
20	22 297	63,34	62,02	0,015	0,72	0,46	74	77,27
21	51 547	62,88	61,37	0,015	0,75	0,44	49	55,89
22	25 393	61,84	61,15	0,013	0,73	0,44	63	100,91
23	25 374	62,50	61,03	0,014	0,78	0,48	107	82,03
24	57 468	62,61	62,16	0,018	0,24	0,36	1 295	151,09
25	27 094	63,35	61,82	0,013	0,70	0,45	117	57,84
26	34 211	61,75	60,24	0,88	0,69	0,47	43	66,25
27	60 974	63,06	61,60	0,014	0,68	0,43	52	109,6

Fuente: elaboración propia, con base en técnicas cuantitativas.

7. Litros de agua suave a añadir con base en el contenido total de sólidos del látex de campo

Prueba	Peso látex de campo [kg]	TSC [%]	TSC requeridos [%]	Agua suave [L]
1	2 054	32,58	-	-
2	2 091	28,96	-	-
3	1 493	33,97	30,80	137,27
4	1 631	30,97	-	-
5	1 721	31,88	31,24	19,23
6	1 721	33,26	31,00	96,48
7	1 671	33,80	30,00	200,26
8	1 785	33,68	29,90	215,12
9	1 752	29,35	-	-
10	1 725	34,14	29,90	234,03
11	1 762	34,40	29,90	254,43
12	1 900	32,42	29,90	146,39
13	1 660	30,72	29,90	39,38
14	1 823	33,39	29,90	222,27
15	1 823	36,66	29,90	397,74
16	1 805	28,99	-	-

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

8. Contenido total de sólidos teórico (TSC) del látex de campo para obtener un látex concentrado con especificaciones técnicas internacionales

Prueba	TSC _o [%]	Peso látex de campo [kg]	TSC _p [%]	Peso skim [kg]	TSC _f [%]	Peso látex concentrado [kg]	TSC teórico [%]
1	32,16	2 054	8,27	1 464,76	63,18	853,8	31,88
2	28,96	2 091	8,27	1 497,68	62,68	768,5	28,89

Continuación de apéndice 8.

3	31,80	1 493	8,13	465,88	60,03	727.8	--
4	31,42	1 631	8,20	932,01	62,92	693	31,24
5	32,20	1 721	9,22	1 107,50	61,84	731	--
6	31,98	1 721	8,07	539,76	62,57	810	31,95
7	33,02	1 671	7,61	1 417,14	61,57	721	--
8	32,12	1 785	6,20	3 034,17	62,74	614	32,04
9	28,83	1 752	8,06	2 095,05	61,47	547	--
10	29,85	1 725	9,34	1 299,50	63,27	622	29,57
11	31,71	1 762	8,26	2 041,84	63,53	614	31,35
12	32,32	1 900	6,44	3 592,84	63,89	599	31,88
13	30,89	1 660	8,29	1 640,82	61,46	613	--
14	30,41	1 823	7,25	1 995,67	61,70	664	--
15	33,89	1 823	9,57	2 019,86	63,55	668	33,51
16	31,43	1 805	8,08	2 296,88	62,17	614	--

Fuente: elaboración propia, con base en recolección y ordenamiento de la información.

9. Parámetros fisicoquímicos del látex estandarizado

Prueba	Entrada					Salida				
	TSCo [%]	DRCo [%]	NH3 [%]	VFA	Mg [ppm]	TSCf [%]	DRCf [%]	NH3 [%]	VFA	Mg [ppm]
5	32,20%	29,42%	0,47	0,022	339,01	61,84%	60,44%	0,77	0,013	62,27
7	33,02%	30,57%	0,41	0,018	224,21	61,57%	60,45%	0,78	0,013	51,70
9	28,83%	26,19%	0,42	0,023	164,10	61,47%	60,12%	0,65	0,012	40,38
13	30,89%	28,29%	0,55	0,018	133,03	61,46%	60,29%	0,79	0,013	62,28
14	30,41%	28,40%	0,38	0,016	268,20	61,70%	60,50%	0,65	0,010	49,55
16	31,43%	28,71%	0,37	0,016	314,27	62,17%	60,78%	0,85	0,015	57,38

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

10. Eficiencia del proceso del látex caracterizado

Prueba	Entrada		Salida		Eficiencia [%]
	DRC _o [%]	Látex de campo [kg]	DRC _f [%]	Látex concentrado [%]	
1	29,94	2 054	61,89	853,8	85,93
2	26,73	2 091	61,52	768,5	84,59
3	29,10	1 493	58,70	727,8	98,33
4	29,02	1 631	61,60	693	90,19
5	29,42	1 721	60,44	731	87,26
6	29,08	1 721	61,31	810	99,23
7	30,57	1 671	60,45	721	85,32
8	29,71	1 785	61,59	614	71,31
9	26,19	1 752	60,12	547	71,67
10	27,97	1 725	62,09	622	80,04
11	29,76	1 762	62,43	614	73,10
12	29,60	1 900	62,69	599	66,77
13	28,29	1 660	60,29	613	78,70
14	28,40	1 823	60,50	664	77,59
15	31,47	1 823	62,20	668	72,42
16	28,71	1 805	60,78	614	72,01

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

11. Eficiencia del proceso previo a la estandarización

Prueba	Peso látex de campo [kg]	DRC _o [%]	Peso látex concentrado [kg]	DRC _f [%]	Eficiencia [%]
1	71 505	32,52	33 438	61,81	88,88
2	69 398	34,97	26 407	60,49	65,82
3	76 605	30,63	34 010	61,48	89,11
4	76 419	30,63	33 430	61,76	88,21
5	128 264	32,94	61 200	62,02	89,84
6	69 182	33,52	32 690	61,92	87,29
7	60 097	29,16	25 002	62,07	88,56

Continuación de apéndice 11.

8	66 440	32,67	30 194	61,54	85,61
9	125 359	34,23	58 003	61,40	83,00
10	74 565	32,19	34 010	61,57	87,24
11	100 068	33,46	34 800	61,16	63,57
12	79 016	29,89	33 867	63,58	91,17
13	75 307	32,05	32 699	61,53	83,36
14	81 983	29,92	34 436	63,58	89,26
15	74 937	33,04	33 803	61,66	84,18
16	64 055	30,77	27 571	59,57	83,33
17	44 239	33,53	21 580	61,52	89,50
18	67 131	34,24	30 161	61,38	80,54
19	133 612	32,86	60 974	61,94	86,02
20	49 524	34,28	22 297	62,02	81,46
21	120 259	34,78	51547	61,37	75,63
22	51 411	33,87	25393	61,15	89,17
23	69 928	35,61	25374	61,03	62,19
24	137 812	29,99	57468	62,16	86,43
25	55 367	34,68	27094	61,82	87,23
26	69 278	32,49	34211	60,24	91,56
27	124 522	32,13	60974	61,60	93,88

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

12. Eficiencia del proceso estandarizado

Prueba	DRCo [%]	Peso látex de campo [kg]	DRCf [%]	Peso látex concentrado [kg]	Eficiencia [%]
5	29,42%	1721	60,44%	731	87,26
7	30,57%	1671	60,45%	721	85,32
9	26,19%	1752	60,12%	547	71,67
13	28,29%	1660	60,29%	613	78,70
14	28,40%	1823	60,50%	664	77,59
16	28,71%	1805	60,78%	614	72,01

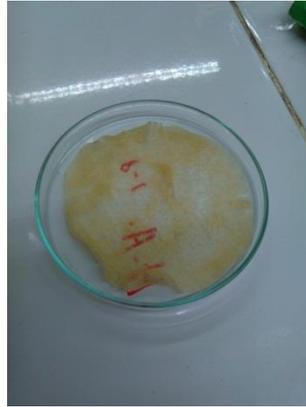
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

13. Medición del porcentaje de magnesio



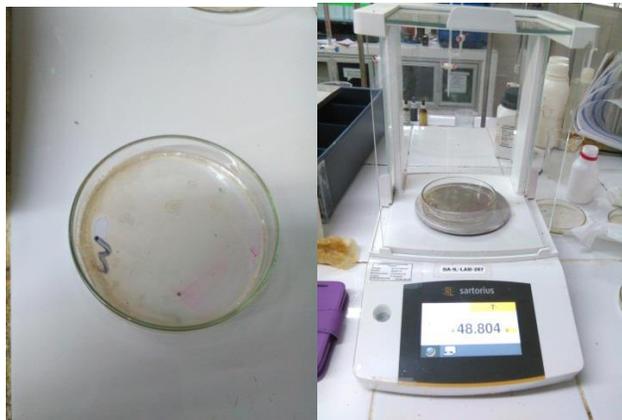
Fuente: Laboratorio Inlatsa.

14. Medición del porcentaje de hule seco (DRC)



Fuente: Laboratorio Inlatsa.

15. Medición del contenido total de sólidos (TSC)



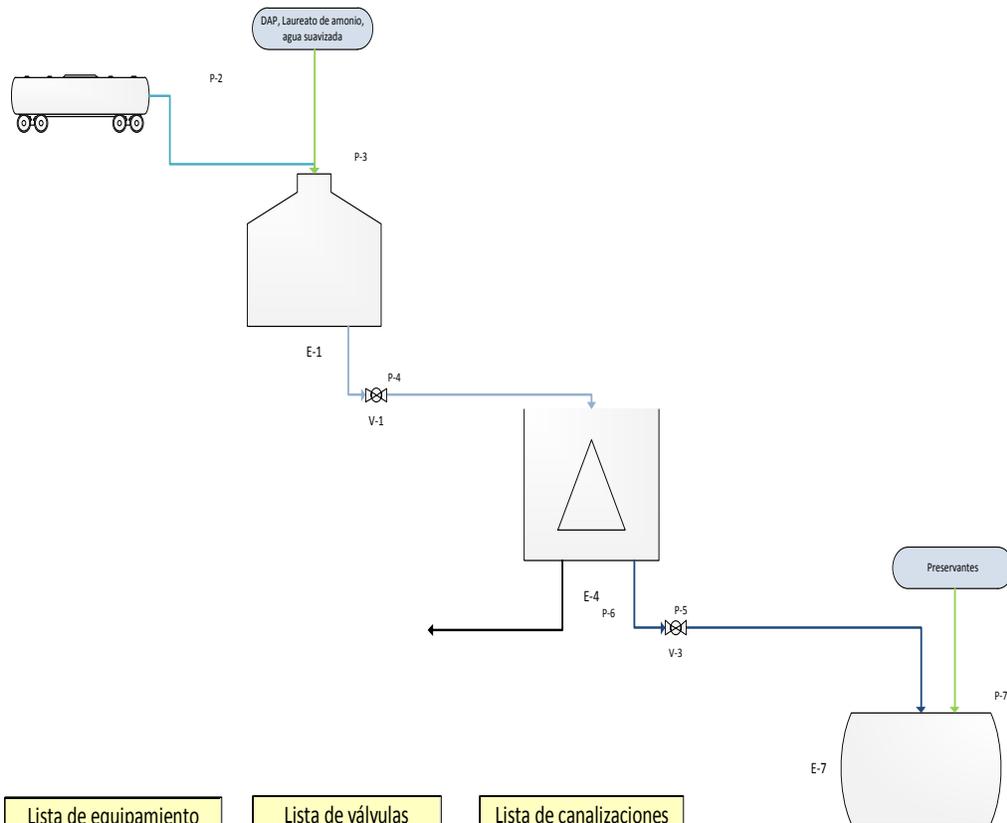
Fuente: Laboratorio Inlatsa.

16. **Medición de ácidos grasos volátiles (VFA)**



Fuente: Laboratorio Inlatsa.

17. Diagrama del proceso de centrifugación del látex



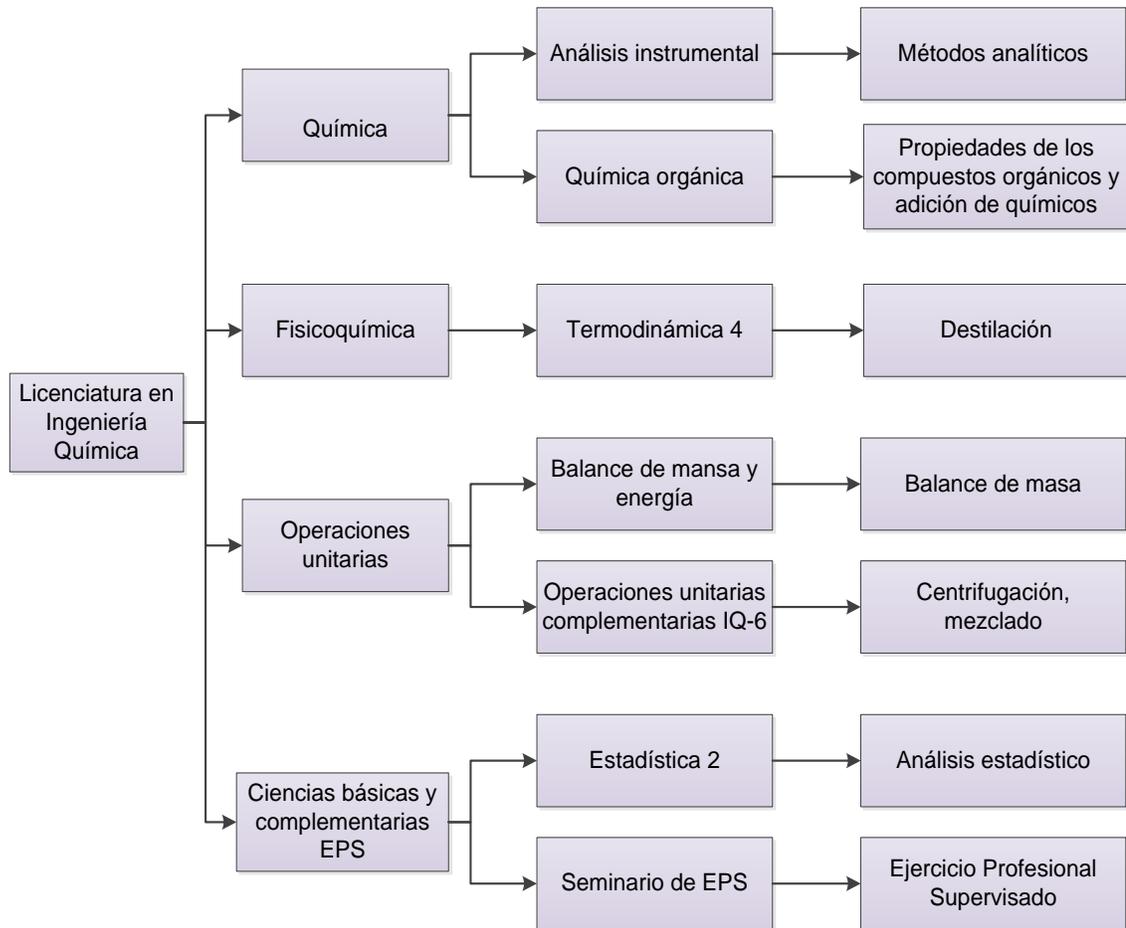
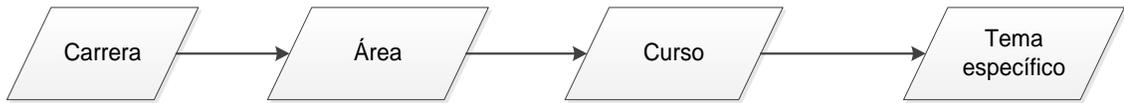
Lista de equipamiento	
Texto mostrado	Descripción
E-1	Tanque de recepción
E-4	Centrifuga
E-7	Tanque horizontal

Lista de válvulas	
Texto mostrado	Descripción
V-1	válvula de bola
V-3	válvula de bola

Lista de canalizaciones	
Texto mostrado	Descripción
P-2	látex de campo
P-3	Aditivos
P-4	látex de campo
P-5	látex concentrado
P-6	Skim

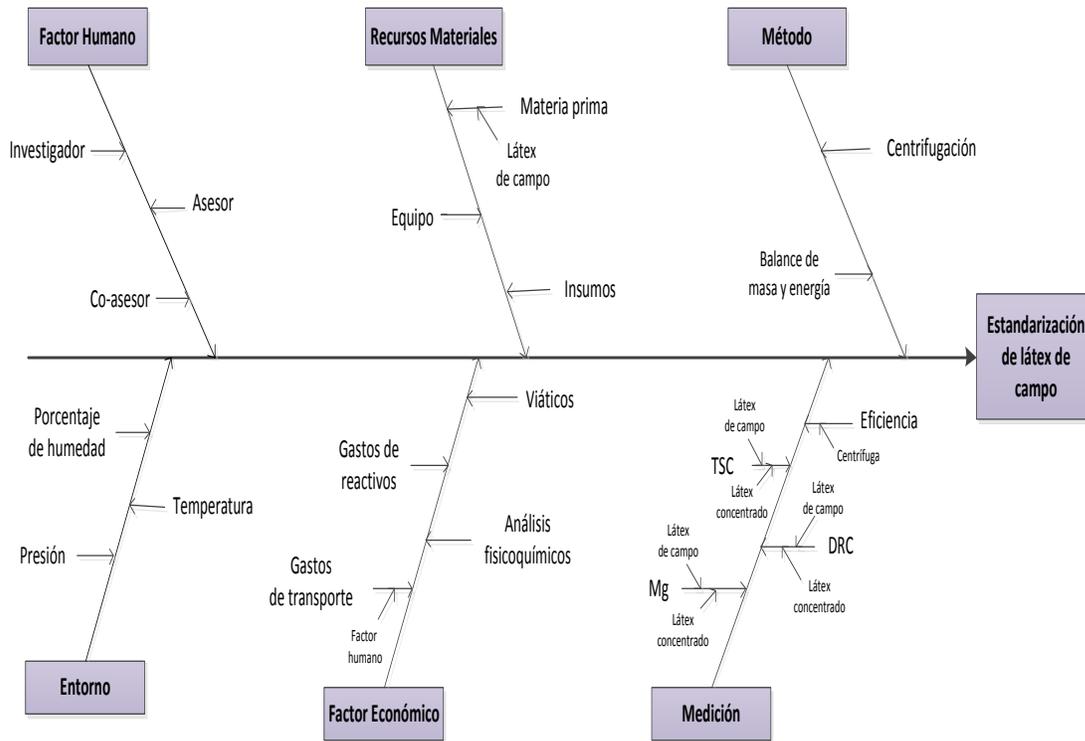
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Project.

18 **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

19. **diagrama ishikawa**



Fuente: elaboración propia.