

**ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO
DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO NATURAL EN LA REGIÓN DE CIMITARRA
SANTANDER**

CLAUDIA PATRICIA TAVERA RUIZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO
DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO NATURAL EN LA REGIÓN DE CIMITARRA
SANTANDER**

CLAUDIA PATRICIA TAVERA RUIZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniera Química

Directora:

MARIA PAOLA MARADEI GARCÍA

Ph D. Ingeniería Química

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

A DIOS por darme la vida, la sabiduría, y la oportunidad de vivir esta importante etapa.

A mis PADRES FERMIN Y GILMA, padres ejemplares, amorosos y luchadores, que con su amor, esfuerzo, apoyo y dedicación a mi formación, son los responsables de todo lo que soy, ellos son mi motivación. Esto es para Ustedes, los amo.

A mi HERMANO Y AMIGO DIEGO, por su cariño, compañía, ayuda y alegría.

A ADRIAN que con su amor e incondicionalidad fue gran apoyo en este camino. Gracias por tu compañía, colaboración, por tantos momentos y por tu gran y hermoso regalo "Mi Luna".

A la FAMILIA ANGARITA SOSA por su cariño y acompañamiento en cada etapa de mi vida, a mi madrina Luzmila por ser mi otra mamá y ser mi ejemplo de mujer luchadora y bondadosa, a Don Mario por su colaboración e incondicionalidad, y a Julián y Beto por ser mis hermanos mayores.

A la FAMILIA SOSA FORERO, en especial a mi Nonita María por adoptarme como su nieta y brindarme su amor maternal.

A LA TIA CARMEN, KARITO, MARIANA Y LA ABUELITA aunque ya no este, por abrirme las puertas de su casa, brindarme cariño, atención y buenos momentos, gracias por ser hacerme sentir en familia, las llevo en el corazón.

A MI ABUE Y MI TIA OTILIA que desde el cielo siempre me acompañaron.

A TODA MI FAMILIA: ABUELOS, TIOS Y PRIMOS por su cariño, apoyo y por creer en mí, los quiero.

A MIS AMIGOS Y A CADA UNA DE LAS PERSONAS que de una y otra manera contribuyeron en mi formación personal y profesional.

CLAUDIA PATRICIA

AGRADECIMIENTOS

A la Doctora **MARIA PAOLA MARADEI GARCÍA**, Directora del proyecto, por su asesoría, gran ayuda, apoyo, enseñanzas y enorme dedicación al desarrollo del proyecto.

A la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**, por su formación académica y humana, y por la colaboración poniendo a disponibilidad sus instalaciones y talento humano.

A la **CORPORACIÓN PARA LA SALUD PUBLICA PARTICIPATIVA OBUSINGA** por su confianza y apoyo financiero.

A la Dra. **SUGEY MILENA QUINTERO**, Trabajadora Social de la **CORPORACIÓN PARA LA SALUD PUBLICA PARTICIPATIVA OBUSINGA** por su colaboración, acompañamiento y disposición.

Al Ingeniero Agrónomo **JOSE ROMERO AGUILLÓN**, Gerente de **ASOCAUCHO** por su contribución, acompañamiento y asesoría en el desarrollo de la investigación.

A cada socio de **ASOCAUCHO** por su amabilidad, colaboración, confianza, recibimiento y contribución de muestras.

A la **RED DE JOVENES DEL MAGDALENA MEDIO** por su compañía, gentileza y disposición con el desarrollo de la investigación.

A los señores **EDUARDO CARREÑO Y WILSON CARREÑO**, Técnicos del laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química por su constante ayuda técnica y disposición.

Al señor **ALEJANDRO NIÑO** por su colaboración técnica y suministro de reactivos.

A cada uno de los **DOCENTES** que hicieron parte activa de mi aprendizaje y formación

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEORICO	16
1.1. PROCEDENCIA DEL CAUCHO NATURAL	16
1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL LATEX	16
1.3. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL CAUCHO NATURAL	17
1.4. PRESENTACIONES Y CALIDADES DEL CAUCHO	18
1.4.1.CALIDADES CAUCHO SÓLIDO.....	19
1.4.2.CALIDADES CAUCHO LÍQUIDO	20
1.5. PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN SANTANDER	22
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	24
2.1.ETAPA 1: SELECCIÓN DE PROCESOS A ESTUDIAR	24
2.2.ETAPA 2: CARACTERIZACIÓN DEL CAUCHO PRODUCIDO EN CIMITARRA SANTANDER.	25
2.3.ETAPA 3: ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE LATEX CREMADO.	25
2.3.1.IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES PREDOMINANTES	26
2.3.2.ESTUDIO EXPERIMENTAL DE VARIABLES.....	26
2.3.3.SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN A IMPLEMENTAR.	28
2.4.ETAPA 4: CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX CONCENTRADO OBTENIDO.	28
2.5.ETAPA 5: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROCESAMIENTO DE CAUCHO TECNICAMENTE ESPECIFICADO.	29
2.5.1.IDENTIFICACION DE VARIABLES	29
2.5.2.ESTUDIO EXPERIMENTAL DE VARIABLES.....	29

2.6.ETAPA 6: CARACTERIZACIÓN DEL CAUCHO TSR OBTENIDO	31
3.RESULTADOS Y ANÁLISIS	32
3.1.RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX Y CAUCHO PRODUCIDO EN CIMITARRA SANTANDER.	32
3.1.1.ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX	32
3.1.2.ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL CAUCHO EN LÁMINA	33
3.2.RESULTADOS ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE CREMADO.	34
3.3.RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX CREMADO OBTENIDO	37
3.4.RESULTADOS ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCION DE TSR	38
3.4.1.RESULTADOS ETAPA DE COAGULACIÓN.....	38
3.4.2.RESULTADOS ETAPA DE SECADO.....	38
3.5.RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN TSR OBTENIDO	40
4.CONCLUSIONES	41
5.RECOMENDACIONES	42
6.BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Presentaciones y calidades del caucho natural.	19
Figura 2. Distribución de áreas sembradas en Santander (Héctareas).....	23
Figura 3. Diagrama de bloques del desarrollo de la investigación.	24
Figura 4. Fases de estudio experimental del proceso de látex cremado.	26
Figura 5. Fases de estudio experimental proceso de producción deTSR.....	29
Figura 6. pH Vs Tiempo.	36
Figura 7. Comportamiento de la materia volátil a través del tiempo a diferentes temperaturas.....	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del Látex	17
Tabla 2. Composición media del caucho natural	18
Tabla 3. Diseño experimental del proceso de látex cremado	28
Tabla 4. Diseño experimental de la etapa de secado.....	31
Tabla 5. Resultados de la caracterización del látex.....	32
Tabla 6. Resultados de la caracterización del caucho en lámina.	33
Tabla 7. Resultados contenido total de sólidos del estudio de látex cremado....	34
Tabla 8. Resultados contenido de caucho seco del estudio de latex cremado. .	35
Tabla 9. Resultados de la caracterización del látex cremado obtenido.....	37
Tabla 10. Resultados contenido de caucho seco de la etapa de coagulación. ...	38
Tabla 11. Resultados caracterización del caucho TSR obtenido.....	40

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Mercado mundial y nacional.....	47
ANEXO 2. Demanda mundial de caucho natural según sus calidades.	52
ANEXO 3. Proceso artesanal de beneficio del caucho en Cimitarra.	55
ANEXO 4. Especificaciones técnicas del látex concentrado según Norma ASTM 1076 – 88.....	57
ANEXO 5. Proceso de producción de látex cremado propuesto.	58
ANEXO 6. Especificaciones técnicas cauchos técnicamente especificados según Norma ASTM 2227 - 90	60
ANEXO 7. Producción de caucho técnicamente especificado TSR.....	61
ANEXO 8. Proceso de producción de TSR propuesto.....	63

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO NATURAL EN LA REGIÓN DE CIMITARRA SANTANDER *

AUTOR: CLAUDIA PATRICIA TAVERA RUIZ **

Palabras claves: Caucho Natural, Látex, Cremado, TRS

El caucho natural es obtenido a partir del látex emanado por un gran número de plantas, sin embargo, por la calidad de su látex a nivel comercial se explota el árbol de caucho *Hevea Brasiliensis*, especie originaria de la región amazónica. Según el tipo de tratamiento y beneficio, el caucho natural se puede obtener en diferentes presentaciones y calidades. El látex puede ser preservado y concentrado para ser comercializado como látex natural (caucho líquido) o coagulado y/o transformado en diversos tipo de caucho sólido. El objetivo principal de este trabajo, es realizar un estudio experimental de un proceso de producción de caucho natural, con el cual se llegue a productos de calidad certificada, para implementarlo en Cimitarra (Santander), el cual busca modernizar la explotación tradicional de caucho mediante la implementación de procesos tecnológicos que le permita transformar la explotación del caucho natural en una de las primeras apuestas agroindustriales con alto potencial comercial e industrial en Santander y el país. En el trabajo se realizó la caracterización del caucho producido actualmente en la región y se logró determinar los parámetros y condiciones de operación necesarios para obtener productos que satisfagan los criterios de calidad de las normas internacionales para látex cremado y caucho TSR 20.

* Trabajo de grado.

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: Ph.D. María Paola Maradei García.

ABSTRACT

TITLE: EXPERIMENTAL STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A PROCESS OF PRODUCTION OF NATURAL RUBBER IN THE REGION OF CIMITARRA SANTANDER. *

AUTHOR: CLAUDIA PATRICIA TAVERA RUIZ **

KEYWORDS: Natural rubber, latex, cremated, TRS.

Natural rubber is obtained from latex emanated by a large number of plants, however, the quality of its latex commercially exploit the rubber tree *Hevea brasiliensis*, a species native to the Amazon region. Depending on the type of treatment and benefits, natural rubber can be obtained in different forms and qualities. The latex can be concentrated to be preserved and marketed as natural latex (liquid rubber) or coagulated and / or processed in various types of solid rubber. The main objective of this work is to perform a pilot study of a process of natural rubber production, with which it comes to quality products certified to be implemented in Cimitarra (Santander), which seeks to modernize the traditional exploitation of rubber by implementation of technological processes that will enable us to transform the exploitation of natural rubber in one of the primary issues with high potential agro-industrial and commercial in Santander and the country. The study was conducted to characterize the rubber produced in the region today and was able to determine the parameters and operating conditions required to produce products that meet quality criteria of international standards for cremated latex and rubber TSR 20.

* Trabajo de grado.

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: Ph.D. María Paola Maradei García.

INTRODUCCIÓN

El caucho natural es una materia prima básica para un gran número de industrias. Durante los últimos años la industria del caucho en Colombia se ha visto forzada a importar anualmente grandes cantidades de caucho natural, debido a que la capacidad de producción nacional aun es insuficiente para suplir la demanda de la industria. A esto hay que agregarle el hecho que los cauchos colombianos no cumplen con las especificaciones de calidad necesarias para su transformación en productos manufacturados.

Santander es el tercer departamento productor de caucho con una producción representativa en el mercado. La economía del departamento depende en un porcentaje considerable de esta actividad agroindustrial. Con este trabajo se busca promover la transformación agrícola de caucho natural en el departamento de Santander, con miras a explotar un mercado tan importante, de gran impacto dentro de la industria nacional y que se ha dejado a merced del comercio internacional.

Esta iniciativa busca modernizar la explotación tradicional de caucho, con miras a satisfacer las exigencias y calidad de la industria, mediante la implementación de procesos tecnológicos que le permita transformar la explotación del caucho natural en una de las primeras apuestas agroindustriales con alto potencial comercial e industrial en Santander y el país.

La iniciativa se enmarca dentro de un convenio de cooperación y transferencia tecnológica para el aprovechamiento y beneficio del caucho natural en el municipio de Cimitarra (Santander), actualmente en proceso de montaje y que pretende impulsar la economía regional y nacional y a su vez mejorar la calidad de vida de los hevicultores Santandereanos. Dentro de este futuro convenio de cooperación participarán la Asociación de Caucheros del Carare, *ASOCAUCHO*, la Corporación para la construcción participativa de la Salud Pública, *OBUSINGA*, la Red de Jóvenes del Magdalena Medio y la Universidad Industrial de Santander, *UIS*.

El objetivo principal de este trabajo, es realizar un estudio experimental de un proceso de producción de caucho natural, con el cual se llegue a productos de calidad certificada, para implementarlo en el municipio de Cimitarra (Santander), asegurando la competitividad nacional e internacional de dichos productos e impulsando la economía regional y nacional.

Para alcanzar el objetivo propuesto, el trabajo fue realizado en 6 etapas, las cuales están claramente detalladas en el capítulo 2 de este manuscrito, estas son:

- Etapa 1: Selección de procesos a estudiar.
- Etapa 2: Caracterización del látex y caucho natural producidos en Cimitarra.
- Etapa 3: Estudio experimental del proceso de producción de látex cremado
- Etapa 4: Caracterización del látex cremado obtenido
- Etapa 5: Estudio experimental del proceso de producción de TSR
- Etapa 6: Caracterización del caucho TSR obtenido.

Por otra parte, Los resultados obtenidos así como el análisis de estos son presentados en el capítulo 3. Con el estudio se obtuvo condiciones de operación para los procesos de producción de látex cremado y caucho TSR 20.

1. MARCO TEORICO

1.1. PROCEDENCIA DEL CAUCHO NATURAL

En su estado natural el caucho se presenta en suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. En la naturaleza existe un gran número de plantas que producen látex, las que pertenecen principalmente a las familias Moracea, Euforbiacea, Caricacea y Sapotacea, entre otras de menor importancia. Estas plantas muy numerosas están repartidas principalmente en la parte norte de América del Sur, América Central, África e India Meridional [2]. Sin embargo, el que produce en mayor proporción y calidad es uno árbol perteneciente a la familia Euforbiacea conocido científicamente como *Hevea Brasiliensis*. Este árbol, originario del Amazonas, llega a tener una altura de 10-20 metros en su edad adulta. Sin embargo, la explotación del látex no comienza sino a partir de los 6 años de edad cuando el árbol presenta las condiciones óptimas de producción.

1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL LATEX

El látex es un líquido blanco, poco viscoso y de aspecto lechoso, constituido por una suspensión coloidal de partículas de caucho de 0,5 a 3,0 μ de diámetro. Aparte del agua y del caucho se encuentran también algunas proteínas naturales, resinas y azúcares. En la Tabla 1. se muestra la composición del látex fresco natural.

La transformación del látex en caucho incluye una etapa de coagulación que permite separar las partículas de caucho de la fase líquida del látex llamada suero. La recuperación del máximo de partículas de caucho es la clave para obtener el máximo de eficiencia en el proceso, sin embargo, el pH de la suspensión afecta profundamente su estabilidad favoreciendo la coagulación espontánea del caucho a las pocas horas de la sangría.

Se sabe que el pH del látex se encuentra muy cerca de la neutralidad en el momento de la extracción, pero éste pasa rápidamente en estado ácido bajo la

acción de ciertos microorganismos o de enzimas culpables de la coagulación espontánea. En consecuencia, de manera corriente el látex es preservado con algunos agentes químicos una vez extraído del árbol, esto con el fin de mantenerlo en un pH próximo al neutro hasta el momento de su procesamiento.

Una vez el látex en planta la coagulación puede realizarse bajo condiciones controladas. Para ello al látex estabilizado se le adiciona ácido con el fin de desplazar el pH de éste hasta su punto isoeléctrico (aproximadamente 4,5), el cual determina el inicio de la coagulación.

Por otro lado, como las partículas de caucho se encuentran en la suspensión cargadas negativamente, la coagulación también puede ocurrir por adición de electrolitos, aunque estos no sean hidrolizables. [1]

Tabla 1. Composición promedio del Látex.

CONSTITUYENTE	COMPOSICION (%)
Hidrocarburo de Caucho	30 – 40
Agua	55 – 70
Proteínas	1,5 – 3,0
Resinas	1,5 – 2,0
Azúcares	1 – 2
Cenizas	0,5 – 1,0

FUENTE: NAUNTON, W.J [10]

1.3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CAUCHO NATURAL

El caucho natural es el producto de la coagulación del látex, por lo tanto su composición depende de la del látex, de los factores biológicos o climáticos que han podido influir en esta composición, y los tratamientos que ha experimentado este látex para ser transformado en caucho. En la Tabla 2 se muestra la composición media del caucho de plantación.

Tabla 2. Composición promedio del caucho natural

CONSTITUYENTE	COMPOSICION (%)
Humedad	0,3 – 1,2
Extracto acetónico	2,5 – 3,2
Proteínas	2,5 – 3,5
Cenizas	0,15 – 0,50
Hidrocarburo caucho	92 – 94

FUENTE: LLORENS G., José [4]

Químicamente el caucho es un hidrocarburo cuya fórmula empírica es $(C_5H_8)_n$. *Grosso modo*, el caucho es un polímero del isopreno, cuerpo orgánico que pertenece al grupo de los hidrocarburos insaturados.

Físicamente el caucho es una sustancia elástica e impermeable, teniendo además muchas otras propiedades características que lo hacen útil para varias aplicaciones. La habilidad notable del caucho para estirarse y contraerse a su forma original se debe a las formas irregulares de las cadenas de polímeros causadas por los dobles enlaces. Estos enlaces introducen dobleces y deformaciones en las cadenas del polímero, por tanto evitan que las cadenas vecinas se aniden entre sí. Cuando se estira, las cadenas enredadas en forma aleatoria se enderezan y orientan en la dirección del jalón pero se mantienen sin deslizarse una sobre la otra por las intersecciones en los enlaces, y cuando se elimina la tensión, el polímero regresa a su estado aleatorio original. [7]

1.4. PRESENTACIONES Y CALIDADES DEL CAUCHO

Según el tipo de tratamiento y beneficio el caucho natural se puede obtener en diferentes presentaciones y calidades. El látex puede ser preservado y concentrado para ser comercializado como látex natural (caucho líquido) o coagulado o transformado en diversos tipo de caucho sólido. La Figura 1 explica las diferentes presentaciones y calidades del caucho.

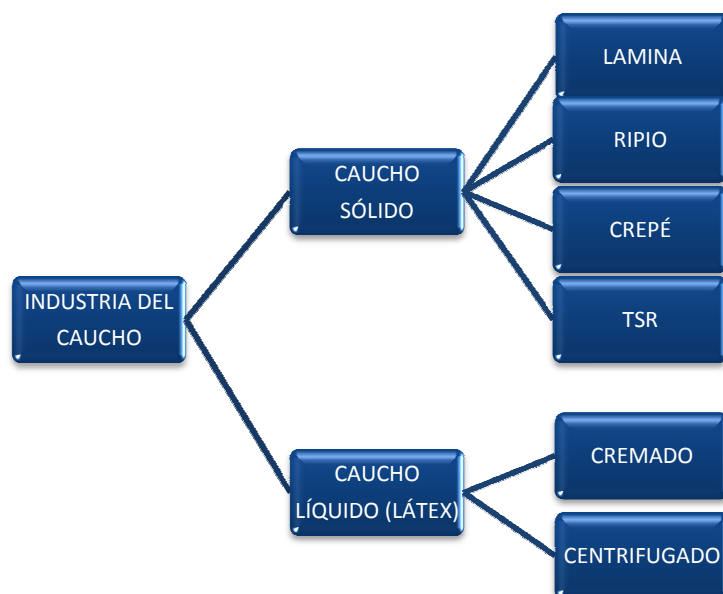


Figura 1. Presentaciones y calidades del caucho natural.

1.4.1. CALIDADES CAUCHO SÓLIDO

Mundialmente existen diferentes tipos de caucho, en algunos la apreciación de la calidad se funda únicamente en consideraciones de simple apariencia externa como el color, en otros, la clasificación no sólo se hace con estas consideraciones, sino también en base a sus propiedades fisicoquímicas. Actualmente los tipos de caucho natural sólido de mayor comercialización son:

- ***Hojas Ahumadas***

Son láminas de caucho secadas con humo a una temperatura de 40°C. Son clasificadas como RSS (Rubber Smoked Sheets) mas una terminación que identifica el lugar de su procedencia. Estas láminas reciben una calificación que va de 1 a 4, siendo la de mayor calidad la 1, y la 4 la de menos calidad. [8]

- ***Hojas Secadas al aire***

Son producidas a partir de látex natural. Se clasifican visualmente según su color y cantidad de impurezas. Se conocen como ADS (Air Dried Sheets), y tienen el mismo grado de calificación de calidad que las hojas ahumadas. [9]

- ***Ripio***

Es el caucho de menor calidad. Está compuesto por cauchos de corteza, cauchos de tierra y fondos de taza. Este tipo de caucho se clasifica solo por su color.

- ***Crepe***

Se denominan NCRX y su clasificación se realiza de acuerdo a su materia prima utilizada y a su color. Se reconocen diferentes tipos, como el crepe, pálido, marrón, ámbar, entre otros. [9]

- ***Cauchos Técnicamente Especificados***

Representan una nueva forma de producir, presentar y empacar el caucho sólido. Esto se logra mediante la aplicación de sistemas de control de calidad claramente especificados en el ámbito internacional. El procesamiento de estos cauchos lo rigen normas de Calidad ASTM, ISO y TCR. Estos se clasifican por origen, tipo y grados. La clasificación es de 5, 10, 20 y 50, siendo el 5 el de mayor calidad y el 50 el de menor [16]. El proceso de obtención del TSR se presenta en el Anexo 7.

El caucho natural en forma de hojas constituye el tipo de caucho sólido más antiguo y sencillo producido a pequeña escala, sin embargo es el TSR el más utilizado en la gran industria. En el Anexo 2 se puede observar los usos del caucho natural sólido a nivel mundial.

1.4.2. CALIDADES CAUCHO LÍQUIDO

El látex es usado en la industria en diversas aplicaciones (Anexo 2). Actualmente se comercializa de dos formas:

- Látex Normal Preservado
- Látex Concentrado

1.4.2.1. LÁTEX NORMAL PRESERVADO.

Se llama látex normal a aquel que ha sido estabilizado convenientemente y del cual se ha separado parte del lodo por sedimentación. El látex coagula espontáneamente algunas horas después de ser sangrado, lo que hace necesario preservarlo de una manera eficaz para evitar esta coagulación y que pueda comercializarse, permaneciendo así meses sin riesgo de putrefacción o coagulación.

El agente de preservación frecuentemente utilizado es el amoníaco que se añade al látex lo más rápido posible después del sangrado. Este producto tiene un doble papel; por tratarse de un álcali aumenta el pH y por consiguiente la estabilidad, y por otro lado, actúa de antiséptico ya que detiene el crecimiento de microorganismos evitando la putrefacción. [5]

1.4.2.2. LÁTEX CONCENTRADO.

Por razones del costo de transporte y facilidad de aplicación, todo el látex usado en la industria está en forma concentrada, eliminando considerablemente la cantidad de agua. Diversos procedimientos se utilizan actualmente con este fin, siendo los más extendidos los siguientes:

- **Cremado:** El látex previamente estabilizado con amoníaco se crema mediante un prolongado reposo y por adición de ciertos agentes químicos de cremado. Distintas sustancias caracterizadas por su peso molecular relativamente elevado, gran viscosidad y limitada solubilidad en agua se emplean para cremar el látex. Generalmente este procedimiento permite la obtención de un total de sólidos de 60-68% (Anexo 5).
- **Centrifugación:** Es el método más usado en la gran Industria. El látex centrifugado se obtiene tratando el látex previamente estabilizado con amoníaco pasa por una máquina centrífuga. Generalmente este proceso permite la obtención de 60-62% de total de sólidos.

1.5. PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN SANTANDER

Entre las economías regionales colombianas, la de Santander es una de las que está en crecimiento a un ritmo más acelerado. En la actualidad ocupa el cuarto lugar entre los departamentos colombianos por el tamaño de su economía, superando a Cundinamarca y Atlántico. Parte del acelerado crecimiento se explica por la presencia de la principal refinería colombiana de petróleo. Sin embargo, el dinamismo económico de Santander no se agota en el sector de hidrocarburos, la agroindustria también es una cadena productiva importante, siendo la explotación de caucho una actividad predominante en el departamento.

El proyecto de siembra de caucho en Santander comenzó hace más de una década, gracias a la iniciativa del Gobierno Nacional y Departamental, convirtiéndose en una alternativa para sustituir los cultivos ilícitos en la región. Fue acogido dentro del componente social del Plan Colombia, cofinanciado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y apoyado por la Fundación Panamericana para el Desarrollo. Con este plan se aprobó el establecimiento de cultivos de caucho a más de 413 familias campesinas en los municipios de Cimitarra, Landázuri, Puerto Wilches, Puerto Parra y Barrancabermeja. Desde ese entonces la siembra y explotación de caucho en Santander ha venido creciendo satisfactoriamente hasta establecerse como el tercer productor de caucho natural en el país, con aproximadamente 6500 Hectáreas sembradas en diferentes municipios.

Cimitarra es el mayor productor departamental de caucho natural en la actualidad, siendo esta actividad la base de la economía municipal. En el municipio cerca de 300 familias viven del procesamiento del caucho y la comercialización de lámina de caucho a diferentes partes del país, recibiendo en la mayoría de los casos pagos insatisfactorios. En este municipio existen entidades importantes dedicadas a esta actividad, como lo es *ASOCAUCHO*, las cuales trabajan diariamente en el crecimiento y fortalecimiento de la cadena del caucho en la región. En la Figura 2. se puede observar la distribución de las plantaciones en el departamento.

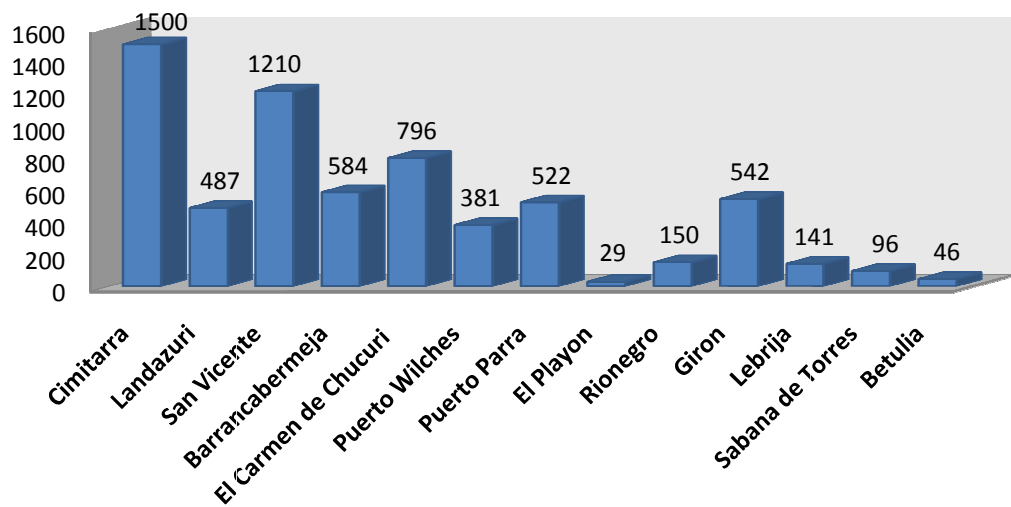


Figura 2. Distribución de áreas sembradas en Santander (Hectáreas).

FUENTE: Procaucho S.A. [12]

El beneficio de caucho en la zona es desarrollado de forma artesanal en cada parcela y familia productora. El proceso de beneficio realizado en el municipio de Cimitarra se describe en el anexo 3.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El objetivo principal de esta investigación es realizar un estudio experimental de los procesos de obtención de productos especificados con normas de calidad, los cuales garantizan la tecnificación y mayor competitividad en cuanto a precio y calidad, con el fin de implementarlo en el municipio de Cimitarra. Para cumplir con los objetivos planteados la investigación se desarrolla en varias etapas. Las etapas realizadas se presentan en la Figura 3.



Figura 3. Diagrama de bloques del desarrollo de la investigación.

2.1. ETAPA 1: SELECCIÓN DE PROCESOS A ESTUDIAR

En esta etapa se realiza un análisis bibliográfico del comportamiento de la industria de caucho en Colombia buscando explorar mercados de productos que actualmente registran una gran tendencia de importación, con el fin de dar la oportunidad al país de tecnificar su producción y reducir esta tendencia de importación. Los productos que se busca estudiar son *Los Cauchos Técnicamente Especificados* y *el Látex Concentrado Cremado*.

2.2. ETAPA 2: CARACTERIZACIÓN DEL CAUCHO PRODUCIDO EN CIMITARRA SANTANDER.

Esta etapa implica la realización de análisis fisicoquímicos al látex y caucho seco producido en la región de estudio. Para esto se tomaron muestras aleatorias de diferentes cultivos y zonas procesadoras. Para conservar las muestras de látex fue necesario agregar 20 ml/l de Amoniaco. Los análisis se realizaron estrictamente bajo los parámetros de la Norma Internacional ASTM 1076-88 [15] y la Norma Técnica Colombiana ICONTEC [17,18,19, 20, 21, 22, 23], realizando cada prueba por duplicado.

Las propiedades analizadas en el látex preservado son:

- % total de sólidos.
- % caucho seco.
- % materia no caucho.
- alcalinidad medida en porcentaje de amoniaco.
- contenido de sedimentos
- pH

Las propiedades analizadas al caucho seco son:

- % suciedad
- % cenizas
- % materia volátil
- % extracto acetónico
- % nitrógeno

2.3. ETAPA 3: ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE LATEX CREMADO.

La producción de látex cremado se realiza en cuatro etapas, de las cuales se estudiaron dos etapas de proceso: Cremado y Separación. Sin embargo el proceso de producción a nivel laboratorio se realizó siguiendo todas las etapas

sin excepción. El estudio experimental se realizó siguiendo varias fases como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Fases de estudio experimental del proceso de látex cremado.

2.3.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES PREDOMINANTES

En esta fase se realizó un estudio de variables predominantes en el proceso de cremado del látex, se identificó que las variables que lo afectan directamente son: agente cremador, concentración del agente cremador, tiempo de cremado y periodo de separación de fases. Estas variables son el objeto de estudio en la etapa experimental del proceso.

2.3.2. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE VARIABLES

Con las variables identificadas se procedió a establecer una serie de experimentos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- utilización de dos tipos de agente cremador
- utilización de dos concentraciones de agente cremador y
- utilización de cuatro tiempos de cremado.

Los agentes cremadores utilizados en la investigación fueron:

- Alginato de Sodio y
- CMC (Carboximetilcelulosa)

El primero es el comúnmente utilizado en la industria mundial actual. El segundo es un agente biodegradable de fácil adquisición, peso molecular elevado y poco soluble en agua. Cada uno de estos agentes cremadores se agregó al látex en dos concentraciones diferentes; 1,5 y 2,5 % p/v. Estas concentraciones se eligieron con base en parámetros de producción y condiciones de operación utilizadas y estudiadas por la compañía Heveatex Guatemala, S.A. , los cuales establecen concentraciones en un rango de 1,5 – 2,5 % p/v. Se tomaron los extremos del intervalo con el fin de conocer los resultados a condiciones mínimas y máximas.

Por otro lado, se realizó el cremado a cuatro tiempos diferentes: una, dos, tres y cuatro semanas.

En el proceso de cremado se presenta una separación de fases: Una fase acuosa y una fase cremosa. Por esta la razón se decide estudiar el periodo de separación de estas fases, para determinar la incidencia de esta variable en el proceso. Se estudiaron dos tipos de separación:

- *Sin separación:* El experimento se realiza sin hacer ninguna separación durante el tiempo de cremado establecido, la separación se realiza al cumplir este tiempo y cuando el proceso ha finalizado.
- *Separación cada dos días:* Durante el tiempo de cremado establecido se realiza separación de fases cada dos días hasta finalizar el proceso.

A cada experimento se le realizó una caracterización, con el fin de conocer el Total de Sólidos y Contenido de Caucho Seco, propiedades indispensables para la obtención de Látex Cremado. En la Tabla 3 se muestra la serie de experimentos estudiados.

Tabla 3. Diseño experimental del proceso de látex cremado

		TIEMPO			
		1 SEMANA	2 SEMANAS	3 SEMANAS	4 SEMANAS
AGENTE CREMADOR	ALGINATO DE SODIO	✓ 1,5 % P/V	✓ 1,5 % P/V	✓ 1,5 % P/V	✓ 1,5 % P/V
		✓ 2,5 % P/V	✓ 2,5 % P/V	✓ 2,5 % P/V	✓ 2,5 % P/V
	C.M.C.	✓ 1,5 % P/V	✓ 1,5 % P/V	✓ 1,5 % P/V	✓ 1,5 % P/V
		✓ 2,5 % P/V	✓ 2,5 % P/V	✓ 2,5 % P/V	✓ 2,5 % P/V

2.3.3. SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN A IMPLEMENTAR.

Después del debido cremado del látex y con base a los resultados obtenidos en el estudio experimental de variables se procede a seleccionar las condiciones de operación del proceso a implementar. Para seleccionar las condiciones de operación se tiene en cuenta:

- Experimento con mayor porcentaje de total de sólidos y contenido de caucho seco.
- Agente cremador con mayor estabilidad
- Tiempo mínimo y máximo de cremado
- Mejor consistencia

2.4. ETAPA 4: CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX CONCENTRADO OBTENIDO.

Después de obtener el látex cremado de mejores condiciones se procede a realizar la caracterización fisicoquímica de este, con el fin de confrontar los resultados con las especificaciones técnicas normativas. Se realizan los mismos análisis fisicoquímicos de la primera etapa de caracterización del látex normal y se comparan los valores, con el fin de encontrar la diferencia en cuanto a calidad.

2.5. ETAPA 5: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROCESAMIENTO DE CAUCHO TECNICAMENTE ESPECIFICADO.

Los Cauchos Técnicamente Especificados se producen atendiendo la norma ASTM 2227 [16]. El estudio experimental se realiza con el objetivo de cumplir con las especificaciones de las normas de calidad, realizando un estudio a cada variable que afecte directamente estas especificaciones de calidad. Para la realización del estudio se desarrollaron diferentes etapas, como se observa en la Figura 5.



Figura 5. Fases de estudio experimental del proceso de producción de TSR.

2.5.1. IDENTIFICACION DE VARIABLES

Se procede a estudiar las variables que intervienen en el proceso. Se deciden las variables predominantes, además se buscan soluciones para controlar o mejorar las variables que pueden perturbar el proceso o calidad, estas son: agente Coagulante, tiempo de coagulación, temperatura y tiempo de secado.

2.5.2. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE VARIABLES.

Para el estudio experimental de las variables seleccionadas se establece una serie de experimentos, los cuales serán de gran importancia en la elección de condiciones de operación.

2.5.2.1. Estudio experimental de la etapa de coagulación

Para la etapa de coagulación se estudia el tipo de agente coagulante y el tiempo de coagulación. En esta fase se busca encontrar y seleccionar las condiciones que proporcionen el mayor porcentaje de contenido de caucho seco, el cual indicaría el experimento con mayor rendimiento.

Como agente coagulante se utilizaron dos ácidos, los cuales se agregaron en una proporción de 20 ml de ácido/ litro látex diluido con agua. Los ácidos empleados en el estudio son:

- *Acido Acético Comercial 2 % v/v* : Este agente se selecciona debido a que es el recomendado en las norma técnica internacional ASTM 1076 para realizar la etapa de coagulación.
- *Acido Cítrico Natural Puro*: La selección se realiza por iniciativa propia, con el fin de buscar una alternativa amigable con el medio ambiente, de fácil adquisición en la región y además económico. El ácido cítrico utilizado es el jugo de limón.

Los tiempos de coagulación estudiados son una, tres, seis, doce y veinticuatro horas.

2.5.2.2. Estudio experimental de la etapa de secado.

El estudio de esta etapa es de gran importancia ya que es la que determina el porcentaje de materia volátil presente en el caucho, propiedad indispensable y requerida en las especificaciones técnicas normativas. Se busca entonces obtener un porcentaje de materia volátil inferior o igual a 0,8%v el cual es el parámetro máximo permitido. Para el estudio de esta etapa se establece una serie de experimentos que implican tres temperaturas de secado y cuatro tiempos de secado.

Las temperaturas seleccionadas para el estudio son 100, 130 y 150 °C. Los tiempos de secado utilizados son 30, 60, 90, 120 y 180 minutos. En la Tabla 4. Se presenta el diseño experimental del estudio de la etapa de secado del proceso de producción de TSR.

Tabla 4. Diseño experimental de la etapa de secado.

		TIEMPO DE SECADO				
		<i>30 MINUTOS</i>	<i>60 MINUTOS</i>	<i>90 MINUTOS</i>	<i>120 MINUTOS</i>	<i>180 MINUTOS</i>
AGENTE COAGULANTE	<i>ÁCIDO ACÉTICO</i>	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C
		✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C
		✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C
	<i>ÁCIDO CÍTRICO NATURAL</i>	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C	✓ T = 100 °C
		✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C	✓ T = 130 °C
		✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C	✓ T = 150 °C

2.6. ETAPA 6: CARACTERIZACIÓN DEL CAUCHO TSR OBTENIDO

Después de la producción del caucho se deben realizar los análisis y pruebas realizados en la primera etapa. Estos análisis darán a conocer si el caucho que se ha producido realmente es TSR y puede ser comercializado, además el tipo de TSR obtenido.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX Y CAUCHO PRODUCIDO EN CIMITARRA SANTANDER.

3.1.1. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX

Se realizaron los análisis fisicoquímicos a las muestras recolectadas según los métodos especificados por la Norma ASTM 1076 [15], con el fin de caracterizar y clasificar este látex según las normas internacionales. Los resultados de estas pruebas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la caracterización del látex

PROPIEDAD	VALOR
TOTAL DE SOLIDOS (%m/m)	49,22
CONTENIDO DE CAUCHO SECO (%m/m)	43,76
ALCALINIDAD TOTAL (% amoniaco)	1,10
CONTENIDO DE SEDIMENTOS(% m/m)	0,47
MATERIA NO CAUCHO(%m/m)	5,46
COLOR	BLANCO
pH	9
Descripción Visual: Látex blanco, olor no putrefacto, con alto contenido de materias extrañas: corteza, insectos, hojas, entre otros.	

Con los resultados obtenidos y según las especificaciones técnicas de la Norma ASTM [15] el látex obtenido en la región de Cimitarra clasifica como **Látex Natural Normal Preservado**.

Con los resultados se puede analizar que el contenido de materia no caucho es muy elevado, esto se debe principalmente a la falta de cuidado y asepsia a la hora de la sangría y recolección. Se encontró materias extrañas como corteza, flores, insectos y otras en el látex. Hay que resaltar que al látex no le hacen ningún proceso de purificación que evite que estas materias se vayan al proceso de obtención de caucho.

Las pruebas de estabilidad mecánica, contenido de cobre y manganeso no se realizaron debido a la indisponibilidad de equipos y laboratorios adecuados para estos análisis.

3.1.2. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL CAUCHO EN LÁMINA

Los análisis fisicoquímicos se realizaron según los procedimientos establecidos por Normas ICONTEC [17,18, 19, 20, 21, 22, 23]. Los resultados de estas pruebas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la caracterización del caucho en lámina.

PROPIEDAD	VALOR(%)
SUCIEDAD (%m/m)	7,79
CONTENIDO DE CENIZAS (%m/m)	0,170
MATERIA VOLATIL (%m/m)	1,024
EXTRACTO ACETÓNICO (% m/m)	2,63
CONTENIDO DE NITRÓGENO (%m/m)	0,098
Descripción Visual: Caucho en lámina color amarillo claro, con pocas variaciones de tono y materias extrañas.	

Con los resultados obtenidos de las propiedades del caucho en lámina y según la Norma Técnica Colombiana ICONTEC se clasificó este caucho de la región como *Caucho en Lámina Tipo D de Calidad Media Baja* [17]. Esta clasificación se realizó teniendo en cuenta que se cumplieran en totalidad las especificaciones, todas las propiedades se encontraban dentro de la clasificación *Tipo A*, pero el contenido de suciedad es muy alto, el cual no se encuentra dentro de las especificaciones, siendo esta propiedad tan importante, obliga a clasificarlo en *Tipo D*.

Las pruebas de índice de retención de plasticidad e plasticidad inicial mínima no se realizaron debido a la falta de equipos en la universidad para su realización.

3.2. RESULTADOS ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE CREMADO.

En el estudio experimental del proceso de cremado se obtiene una serie de resultados expresados en porcentaje de total de sólidos y contenido de caucho seco, propiedades que de mayor requerimiento en las especificaciones. Se obtuvieron resultados de dos estudios diferentes: Sin

- Estudio sin separación de fases.
- Estudio con separación de fases cada dos días.

A cada muestra se agrego 0,7% en volumen de amoniacó adicional, valor máximo permitido por las normas técnicas, con el fin de lograr la máxima preservación.

Los resultados del contenido total de sólidos y contenido de caucho de los dos tipos de experimentos se presentan en la Tabla 7 y 8, respectivamente.

Tabla 7. Resultados contenido total de sólidos del estudio de látex cremado

AGENTE CREMADOR	TIEMPO							
	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4	
	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN
ALGINATO DE SODIO 1,5% P/V	53,33	64,63	48,18	64,53	40,41	63,15	40,47	62,11
CMC 1,5% P/V	45,69	60,61	43,75	60,22	38,55	56,46	37,16	50,12
ALGINATO DE SODIO 2,5% P/V	50,26	62,41	49,68	60,93	39,46	60,64	38,63	58,77
CMC 2,5% P/V	46,11	58,70	44,55	58,02	36,22	58,69	35,43	55,90

Tabla 8. Resultados contenido de caucho seco del estudio de látex cremado.

AGENTE CREMADOR	TIEMPO							
	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4	
	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN	SIN SEPARACIÓN	CON SEPARACIÓN
ALGINATO DE SODIO 1,5% P/V	50,27	64,13	51,23	64,23	45,33	63,53	42,11	63,02
CMC 1,5% P/V	38,67	62,61	40,34	61,12	46,38	61,32	34,23	60,21
ALGINATO DE SODIO 1,5% P/V	47,48	62,32	47,32	62,11	41,24	60,15	40,78	60,08
CMC 1,5% P/V	41,19	60,51	41,32	60,57	38,54	60,34	37,43	60,27

El experimento que presenta el mayor valor de porcentaje total de sólidos y caucho seco es el realizado con alginato de Sodio 1,5% p/v durante una y dos semanas de cremado. Se puede observar con los resultados que sin realizar separación de fases no se llega al rango de las especificaciones técnicas, por lo tanto el procedimiento sin separación de fases no sería recomendable para este proceso. Por el contrario se puede ver que realizando separación de fases cada dos días se eleva considerablemente el porcentaje de sólidos y contenido de caucho seco.

Analizando el comportamiento de todos los experimentos con el transcurso del tiempo se puede concluir que es similar, cada semana el porcentaje total de sólidos disminuye levemente, llegando a la cuarta semana con el valor más bajo, esto puede deberse principalmente a la descomposición del látex a medida que pasa el tiempo y a su coagulación espontánea, como se prueba más adelante. Los experimentos realizados con CMC presentaron una disminución más rápida del total de sólidos con respecto a los realizados con alginato de sodio, igualmente se sospecha una descomposición del látex durante el transcurso del experimento, que parece iniciar después de la

segunda semana. La putrefacción se presenta cuando el pH es inferior a 9, para determina la estabilidad de las muestras se tomo el pH durante cada semana, los resultados y comportamiento de esta propiedad se presenta en la Figura 6.

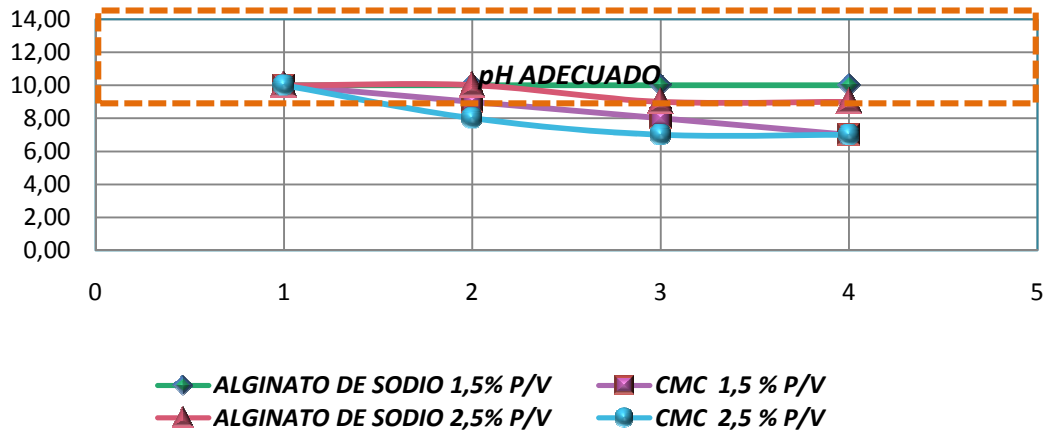


Figura 6. pH Vs Tiempo.

El experimento más estable a través del tiempo es el realizado con alginato de sodio a 1,5 %p/v, para el cual el pH permaneció constante durante las cuatro semanas, este experimento no presento putrefacción. El experimento menos estable a través del tiempo es el realizado con CMC 2,5% p/v, el cual presenta una disminución acelerada en el pH y por tanto una putrefacción rápida.

Según los resultados obtenidos en los dos tipos de estudio: con y sin separación de fases, el agente cremador que presento mejor estabilidad, conservación, y porcentajes mayores de total de sólidos y contenido de caucho seco es el alginato de sodio 1,5% p/v, con tiempos menores o iguales a 2 semanas. Con estos resultados se obtienen finalmente las condiciones de operación a implementar, estas son:

- Agente cremador: Alginato de Sodio
- Concentración: 1,5 % P/V
- Tiempo de cremado: 1 semana
- Separación de fases: Cada 2 días.

Se propone un proceso de producción de látex cremado con estas condiciones de operación, este proceso se puede observar en el Anexo 5.

3.3. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX CREMADO OBTENIDO

Se realizó la caracterización fisicoquímica del látex cremado obtenido a condiciones de operación seleccionadas como óptimas en el estudio experimental. Los resultados de la caracterización se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la caracterización del látex cremado obtenido.

PROPIEDAD	VALOR (%)
TOTAL DE SOLIDOS (%m/m)	65,32 %
CONTENIDO DE CAUCHO SECO (%m/m)	64,09 %
ALCALINIDAD TOTAL(% amoniaco)	0,83 %
CONTENIDO DE SEDIMENTOS(%m/m)	0,08 %
MATERIA NO CAUCHO(%m/m)	0,07 %
COLOR	BLANCO
pH	10
Descripción Visual: Látex blanco, olor no putrefacto, no se observa contenido de materias extrañas ni coagulo.	

Con los resultados se clasifica el látex obtenido según las especificaciones dando como resultado que es **Látex cremado de alto contenido de amoniaco (HA)** (Ver anexo 4). El contenido total de sólidos no cumple todavía con la especificación pero se encuentra próximo al criterio de parada, por lo cual se deben hacer correcciones al proceso para aumentar el valor de esta propiedad a 2% mínimo.

3.4. RESULTADOS ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCION DE TSR

3.4.1. RESULTADOS ETAPA DE COAGULACIÓN

Para determinar el mejor agente coagulante y tiempo mínimo de coagulación se realizaron análisis del contenido de caucho seco a cada experimento, el cual se puede entender como el rendimiento de coagulación. Los resultados obtenidos en esta etapa se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados contenido de caucho seco de la etapa de coagulación.

	<i>1 hora</i>	<i>3 horas</i>	<i>6 horas</i>	<i>12 horas</i>	<i>24 horas</i>
<i>Acido Acético 2% V/V</i>	36,53%	39,36%	43,48%	47,55%	49,67%
<i>Acido Cítrico puro</i>	39,13%	45,76%	49,89%	54,09%	54,21%

El experimento que presentó mayor porcentaje de caucho seco fue el realizado con ácido cítrico puro durante 24 horas de coagulación, sin embargo, se observa que el aumento de esta propiedad durante el intervalo de 12 - 24 horas no es muy elevado o significativo, por lo tanto se concluye que el tiempo de 24 horas no resulta viable técnica y económicamente debido a que no representa un aumento considerable del rendimiento.

Por lo tanto se define que las condiciones que en la etapa de coagulación presenta mayor rendimiento y las cuales serian las condiciones de operación del proceso a implementar son:

- Coagulación con acido cítrico.
- Tiempo mínimo de coagulación de 12 horas.

3.4.2. RESULTADOS ETAPA DE SECADO.

La etapa de secado se realizó a tres temperaturas y seis tiempos diferentes. En esta etapa se busca reducir el contenido de materia volátil presente mediante un sistema de secado diferente al realizado con aire de ambiente. El parámetro

o criterio de parada según las especificaciones técnicas de calidad es 0,8% de materia volátil, los valores iguales o menores a este criterio se consideraran idóneos. (Ver Anexo 6). Las curvas de secado a diferentes temperaturas se presentan en la Figura 8.

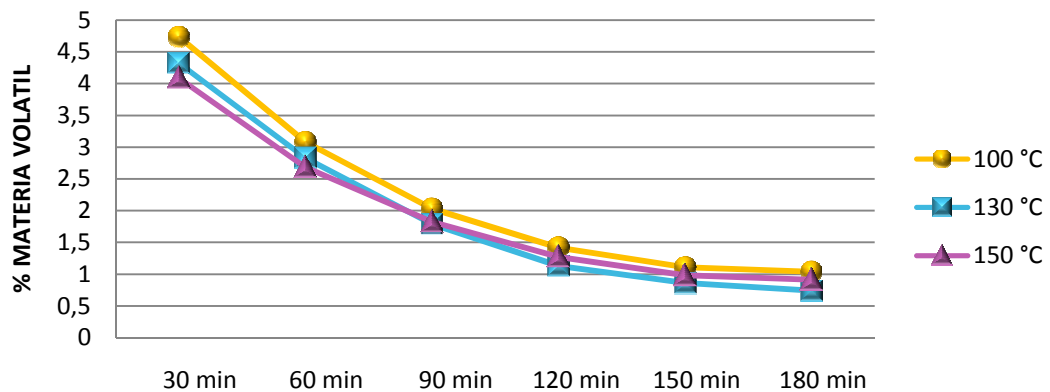


Figura 2. Comportamiento de la materia volátil a través del tiempo a diferentes temperaturas.

Analizando las curvas de secado se puede concluir que la temperatura a la cual se obtiene el menor porcentaje de materia volátil es 130 °C con un tiempo de secado de 180 min, a estas condiciones se obtiene un porcentaje 0,74 % de materia volátil.

La temperatura de 150 °C presentó inicialmente los porcentajes menores, es decir, un secado más eficiente, sin embargo con el transcurso del tiempo el comportamiento de la curva cambia presentando aumento en el valor de materia volátil después de los 120 minutos, esto puede deberse a que a estas condiciones el caucho empieza a sufrir fundición. Por esta razón esta temperatura no se considera apta para operar, pues la pegajosidad y plasticidad no son buenos índices de calidad; el caucho debe tener apariencia y consistencia que permita su maleabilidad. De todos modos, el mínimo porcentaje obtenido a esta temperatura es de 0,91% de materia volátil con un tiempo de secado de 180 minutos, el valor no cumple con las especificaciones. A 100 °C no se alcanza a llegar al criterio de parada, el mínimo porcentaje obtenido a esta temperatura es 1,04%, valor que no cumple con las

especificaciones técnicas (Anexo 6), por lo tanto se desprecia esta temperatura para la selección de condiciones de operación de secado.

Se concluye entonces que las condiciones de operación de la etapa de secado a las cuales se obtiene un porcentaje de materia volátil menor o igual a 0,8%, y las cuales serán implementadas son:

- Temperatura de secado 130 °C.
- Tiempo de secado de 180 minutos.

Finalmente se propone un proceso de producción de TSR con estas condiciones de operación. (Ver anexo 8.).

3.5. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN TSR OBTENIDO

Se realizaron análisis fisicoquímicos al caucho obtenido con las condiciones de operación seleccionadas. Los resultados se expresan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados caracterización del caucho TSR obtenido.

PROPIEDAD	VALOR (%)
SUCIEDAD (%m/m)	0,18 %
CONTENIDO DE CENIZAS (%m/m)	0,16 %
MATERIA VOLATIL (%m/m)	0,73 %
CONTENIDO DE NITRÓGENO (% m/m)	0,098 %
Descripción Visual: Caucho en lamina color café oscuro, con pocas variaciones de tono. No se observan materias extrañas.	

Con los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos se clasificó el caucho obtenido, según las especificaciones técnicas el caucho clasifica como **Caucho Técnicamente Especificado Grado 20(TSR 20)**. (Anexo 6).

4. CONCLUSIONES

De la caracterización del látex y caucho en lámina producidos actualmente en la región se concluye que la calidad es baja, sobre todo por aspectos de suciedad y contenido de materia no caucho, debido a fallas de las etapas de recolección y secado.

Se establecieron condiciones de operación adecuadas para la obtención de productos que cumplen con los parámetros internacionales de calidad establecidos por normas técnicas.

En el estudio se obtuvo **Látex cremado de alto contenido de amoníaco (HA)**. Se aumento considerablemente el contenido total de sólidos, encontrándose próximo al criterio de parada, por lo cual se deben hacer correcciones al proceso para aumentar el valor de esta propiedad mínimo 2%.

Se obtuvo **Caucho Técnicamente Especificado tipo TSR 20**, el cual es el que cuenta con mayor mercado nacional e internacional, lo cual significa la disminución de las importaciones de este producto y el crecimiento de la economía regional al implementar este proceso de producción.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar más a fondo el estudio de la etapa de preservación del látex concentrado y estudiar otro tipo de preservante que logre un tiempo mayor de conservación.
- Debido a las fallas observadas en la recolección y manipulación del látex por parte de los hevicultores, se recomienda hacer un estudio de pautas correctivas que ayuden a la disminución de impurezas desde la raíz de la cadena productora.
- Realizar el diseño de maquinaria necesaria para los procesos de producción de látex cremado y TSR, con el fin de obtener equipos económicos y de capacidad adecuada para la producción de la región, además con innovaciones técnicas que ayuden al aumento del rendimiento de los procesos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. **VIAN**, Ángel. Capítulo 17. La Biosfera III: El árbol vivo como fuente de materia prima en: ***Introducción a la química industrial***. Editor: Ángel Vian. Editorial Reverte S.A. Barcelona, España, pág. 495 - 503 (1994).
- [2]. **URIBE H**, Alfonso. ***Aspectos técnicos en la producción de caucho Hevea***. Editor Bib.Orton Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. (1974).
- [3]. **ROJAS C**, María C. ***El látex natural: Oro blanco en un negocio expansivo***. Revista MM. Sección Mercados. Pág. 100 – 105. (2007).
- [4]. **LLORENS G.**, José. ***El caucho y sus sucedáneos***. Volumen 18 de Estudio de conocimientos generales, Edición Seix y Barral Hnos, (1947).
- [5]. **LE BRAS**, Jean. ***Fundamentos de ciencia y Tecnología del caucho***. Editorial Gustavo Gili. Tercera Edición, Barcelona, España. Capítulo 2. (1960).
- [6]. **CASTELLANOS D**, Oscar F. *et al.* ***Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia***. Ministerio de Agricultura. Editor Giro Editores Ltda. Bogotá, Colombia, (2009).
- [7]. **McMURRY**, John. ***Química orgánica***. Editorial Thomson Paraninfo, S.A. Edición 6. (2005).
- [8]. **MARTÍNEZ C.**, Héctor J. ***Agroindustria y competitividad: Estructura y dinámica en Colombia***. Observatorio de Agrocadenas. Ministerio de Agricultura. Editor IICA. Cap. 4. (2006).
- [9]. **ANDRADE C.** Adriana M. y **PRADA A.** Ludy A. ***Diseño básico de una planta procesadora de látex de caucho natural para diferentes***

capacidades de producción. Trabajo de grado: Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander (2005).

[10]. **NAUNTON, W.J.** *Ciencia y tecnología del caucho*, Editorial continental S.A., Barcelona, España, Capítulo 2, Primera parte. (1961).

[11]. **ESPINEL G, Carlos F. et al.** *La cadena del caucho en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991 – 2005.* Documento de Trabajo No. 94. Consultado en mayo 2010. http://www.sltcaucho.org/cadena_caucho.pdf (2005).

[12]. **PROCAUCHO S.A.** *Desarrollo del sector cauchero.* Memorias Encuentro Internacional del Caucho. Bucaramanga, Santander 30 de julio al 1 de agosto (2009).

[13] Pagina web **www.agronet.gov.co**, consultada Enero 2010.

[14] **COMPAGNON P. y D'AUZAC J.** *Le caoutchouc naturel: biologie, culture, production, Volumen 35 de Techniques agricoles et productions tropicales*, Editorial Maisonneuve & Larose, Paris, Francia. Pág (1986).

[15]. **ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD.** *Standard Specification for Rubber Concentrate, Ammonia Preserved, Creamed and Centrifuged Natural Látex.* Norma D 1076 – 88. Philadelphia. (1992).

[16]. **ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD.** *Standard Specification for Natural Rubber (NR) Technical Grades.* Norma D 2227 – 90. Philadelphia. (1992).

[17]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Clasificación y especificaciones del caucho natural Crudo.* Norma NTC 337. Bogotá, Colombia. (1970).

[18]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Toma de muestras y acondicionamiento.* Norma NTC 338. Bogotá, Colombia. (1970).

[19]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Determinación de la suciedad.* Norma NTC 342. Bogotá, Colombia. (1970).

[20]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Determinación de Cenizas.* Norma NTC 343. Bogotá, Colombia. (1970).

[21]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Determinación de extracto acetónico.* Norma NTC 346. Bogotá, Colombia. (1970).

[22]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Determinación de Nitrógeno.* Norma NTC 347. Bogotá, Colombia. (1970).

[23]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** *Determinación de Materias Volátiles.* Norma NTC 351. Bogotá, Colombia. (1970).

ANEXOS

ANEXO 1. MERCADO MUNDIAL Y NACIONAL.

1.1. PRODUCCION Y DEMANDA MUNDIAL

Actualmente el caucho natural es producido de manera importante en poco más de 20 países, aunque solo 5 concentran el 84% de la producción. El Sudeste Asiático produce el 90% de caucho natural a nivel mundial. Tailandia, Indonesia y Malasia concentran el 79% de la producción, siendo estos países los mayores productores. La India y la China han logrado consolidar una posición representativa en el mercado con una participación de 14%. África produce cerca del 4% del caucho natural y se espera un desarrollo favorable en países como Costa de Marfil, Liberia y Nigeria. América Central y del Sur representa el 3% de la producción mundial. Guatemala, Brasil y México han tenido un desarrollo favorable en el mercado. En la figura A1 se puede observar la distribución de producción de caucho natural a nivel mundial

En la Figura A1. Se puede observar el comportamiento de la producción mundial del caucho.

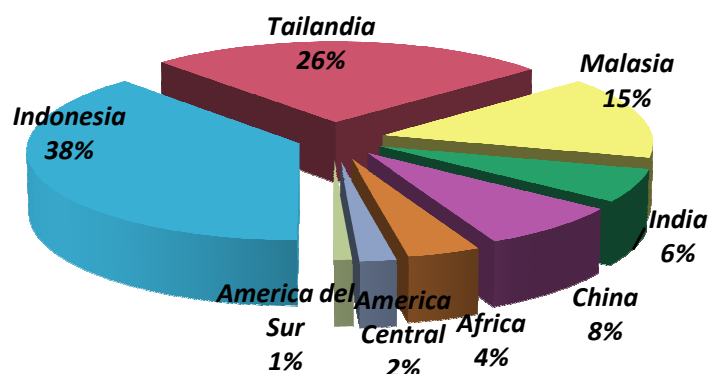


Figura A1. Comportamiento Producción Mundial de Caucho Natural

FUENTE: ESPINEL G, Carlos F. et al [11]

1.2. MERCADO COLOMBIANO

Colombia posee uno de los climas tropicales más estables y favorables para el establecimiento del árbol de caucho, lo que hace posible también la producción continua de la especie y por lo tanto de su producto; un factor a favor si se tiene en cuenta que Brasil y Guatemala, sus principales productores a nivel latinoamericano, presentan algunas variaciones climáticas aceleradas que afectan el crecimiento y desarrollo del árbol [3].

El cultivo de caucho en Colombia ha cobrado importancia en los últimos años debido a las iniciativas adelantadas por el Gobierno Nacional y Regional, que han encontrado en la actividad heveícola un apoyo fundamental para el desarrollo económico del sector agroindustrial. En Colombia el cultivo del caucho ha estado asociado a la sustitución de cultivos ilícitos y programas de fomento de la productividad del sector agrícola, siendo un cultivo de gran importancia social.

Actualmente en Colombia existen cerca de 25 000 Hectáreas, distribuidas en todo el país, siendo 9 núcleos los principales productores.

El departamento del Caquetá es el principal departamento heveícola con 9000 Hectáreas sembradas y continua ampliando sus áreas de siembra a razón de 1000 Hectáreas anuales.

El departamento de Santander viene expandiendo sus áreas de siembra, aportando cerca del 21% de la producción nacional. Antioquia se ubica como el tercer departamento con mayor área establecida en el país, aportando 13% a la producción nacional. El departamento de Meta por su parte ha incrementado sus áreas de siembra, dado el interés de inversionistas privados atraídos por la alta rentabilidad del cultivo, su ubicación estratégica y cercanía a la capital de la república, mayor consumidos a nivel nacional. [4]

Los departamentos de Caquetá, Santander y Meta aportan el 60% de la producción nacional, el aporte de cada departamento se puede observar en la Figura A2.

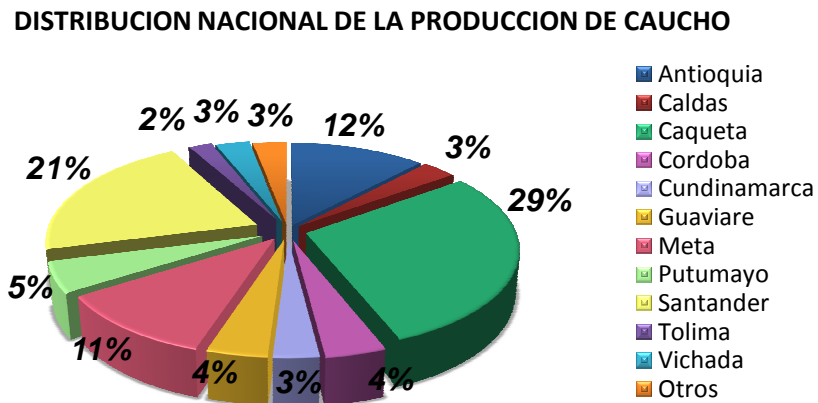


Figura A2. Distribución nacional de la producción de caucho natural

FUENTE: MARTÍNEZ C., Héctor J. [8]

En general en todas las zonas productoras del país se obtienen láminas secadas al aire y ripio, Colombia es uno de los pocos países, sino el único donde se comercializa con ripio, caucho de baja calidad. En menor escala se produce caucho crepe, sin embargo el más demandado por la industria es el caucho técnicamente especificado, pero este no se produce en Colombia.

En Colombia se hace difícil valorizar la producción de caucho, ya que en el país no se produce ningún caucho técnicamente especificado, esto se debe no solo a las limitadas escalas de producción, sino que además los cauchos nacionales tienen estándares de calidad diversos dependiendo de la región en la que se haya producido y los tratamientos realizados en su proceso de obtención.

El consumo de caucho natural en Colombia está dado por las importaciones que se deben realizar debido a la escasa producción nacional de materias primas de calidad. Colombia consume cerca de 16 895 toneladas de caucho natural considerando tanto látex como hojas secadas al aire, TSR, crepe y demás presentaciones. A nivel nacional se están produciendo actualmente cerca de 5000 toneladas de caucho natural, situación que obliga a importar

cerca de 12 000 Toneladas, de países como Guatemala, Malasia e Indonesia. Debido también a esta situación la industria del caucho a aumentado año tras año en el país, y a su vez las importaciones se han reducido cerca de 21% comparado con hace dos años [6]. El comportamiento de la producción de caucho en Colombia en los últimos años se puede observar en la Figura A3.

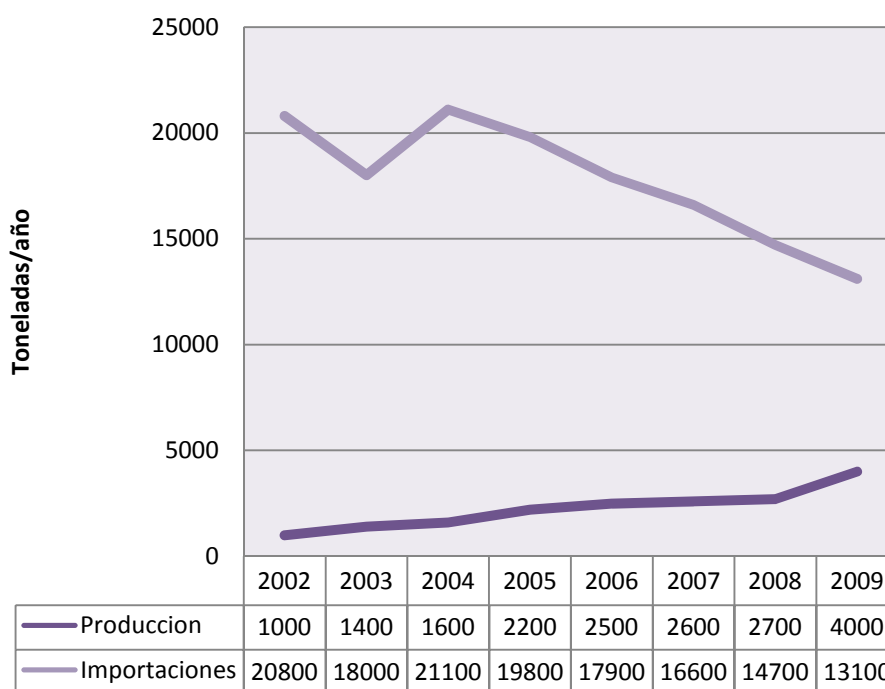


Figura A3. Comportamiento de la producción de caucho natural en Colombia.

FUENTE: www.agronet.gov.co. [13]

Las formas de comercialización del caucho natural en Colombia son Ripio y Laminas Secas al Aire, producidos nacionalmente, y TSR el cual es importado. Los precios actuales de comercialización del caucho en el país se muestran en la Figura A4.

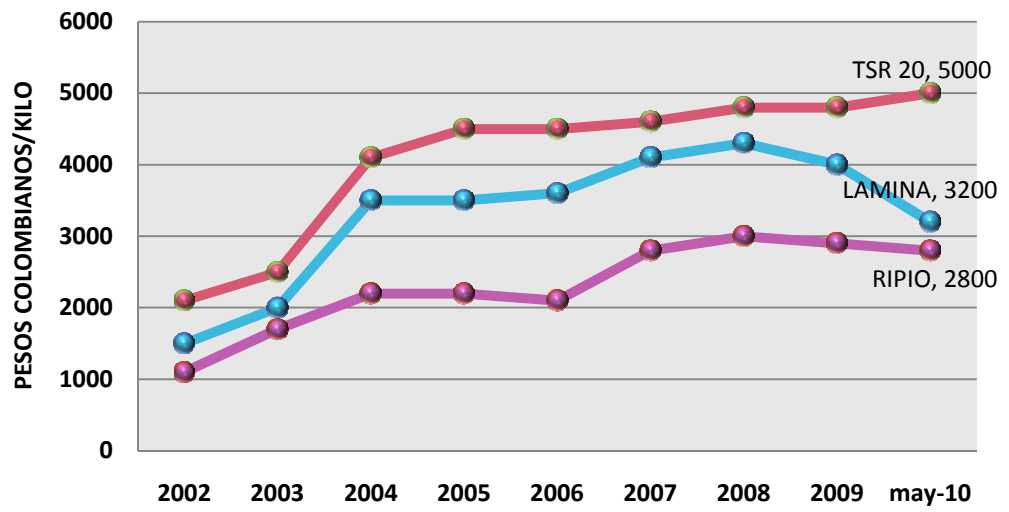


Figura A4. Precios Caucho en Colombia

FUENTE: Procaucho S.A. [12]

ANEXO 2. DEMANDA MUNDIAL DEL CAUCHO NATURAL SEGÚN SUS CALIDADES.

El caucho natural se emplea a nivel mundial en la producción de diversos artículos, con mayor aplicación en aquellos sectores donde se requiere sus propiedades como material de ingeniería, destacándose principalmente el sector de llantas, línea automotriz, calzado, línea médica y productos de alto valor agregado. Existen actualmente demanda de dos tipos: líquido y sólido, existiendo de cada tipo diferentes calidades y usos. En la Tabla B1 se resume los tipos de látex, calidades y esos según su clasificación.

Tabla A1. Tipos de látex y su utilidad.

Tipos de látex y su primera transformación			
Tipo	Característica	Variación	Utilidad
Líquido	Sometido a altas o bajas concentraciones de amoníaco y otras sustancias químicas como aceleradores de vulcanización y antioxidantes; para evitar que se coagule y así poder comercializarlo.	Comprende tres tipos, de acuerdo a los distintos niveles de concentración, siendo el más común para fines de comercialización el concentrado al 60%.	Espumas, colchones, almohadas, guantes, preservativos y bombas de fiesta.
Sólido	Es el látex más utilizado en la industria.	<ul style="list-style-type: none"> Laminados secos al aire: Sometidos a dilución, filtrado y acidificación. Láminas ahumadas: Sometidas a coagulación ácida, secado de humo, color y eliminación de moho y bacterias. No se producen en Colombia. Hoja Crepé Látex: Coagulado pasado por rodillos que lo desgarran y ondulan. Se secan en cuartos calientes y se enrollan en placas para distribución. Caucho granulado o Técnicamente especificado – TSR (SIR, SMR, STR, GEB): Resulta del corte del látex coagulado. Ripio: Es el sobrante final del recogido de látex. Skim: Se obtiene coagulando el subproducto de la centrifugación del látex. No se produce en Colombia. 	<p>Usado para pegantes.</p> <p>Zapatos balones, llantas pequeñas de carretilla.</p> <p>Mangueras y calzado.</p> <p>Llantas en general.</p> <p>Mangueras, calzado y otros usos.</p>

FUENTE: ROJAS C., María C. [3]

En la figura A5 se muestra las diferentes calidades utilizadas en el mundo. En la Figura A6 se pueden ver los usos del caucho natural a nivel mundial.

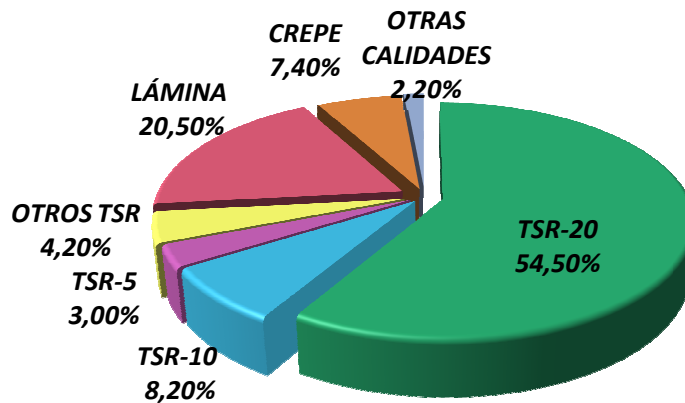
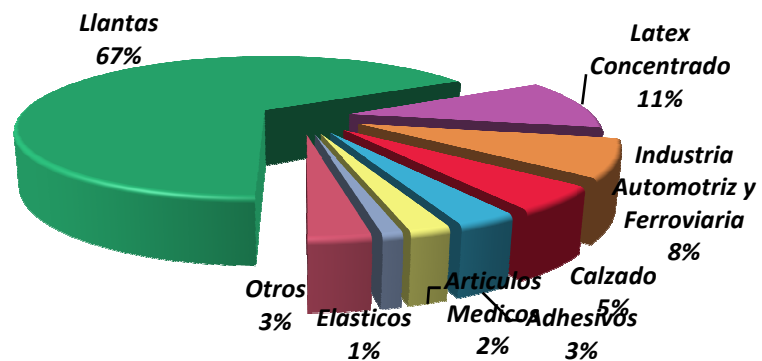


Figura A5. Usos del caucho natural según sus calidades.

FUENTE: ESPINEL G, Carlos F. et al. [11].



FUENTE: ESPINEL G, Carlos F. et al. [11].

Figura A6. Usos del caucho natural a nivel mundial.

La demanda por el caucho natural crece vigorosamente, impulsada entre otras por la industria del automóvil, actualmente la industria de fabricación de llantas es el mayor consumidor de caucho natural en el mundo.

El látex natural cuenta con una demanda mundial de 11%. En la industria actualmente se utiliza látex normal preservado en la producción de artículos manufacturados que no necesitan una calidad específica, sin embargo la mayoría de industria dedicada a la transformación de caucho utiliza látex concentrado

como materia prima. Los diferentes usos del látex concentrado se pueden apreciar en la Figura A7.

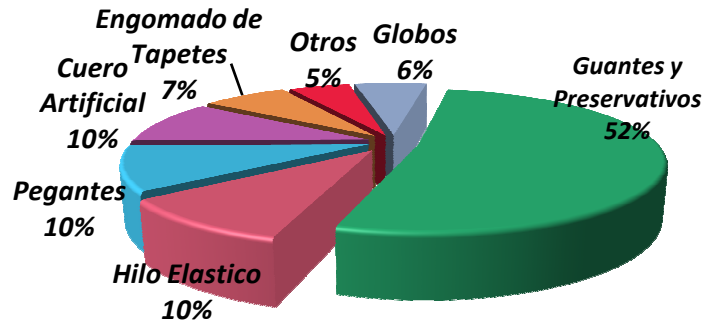


Figura A7. Usos del Látex Natural Concentrado

FUENTE: ESPINEL G, Carlos F. et al. [11].

ANEXO 3. PROCESO ARTESANAL DE BENEFICIO DEL CAUCHO EN CIMITARRA.

El proceso artesanal para beneficio del caucho en Cimitarra se basa en la obtención de caucho sólido. Este caucho se obtiene mediante 5 operaciones básicas, como se muestra en la Figura A7.

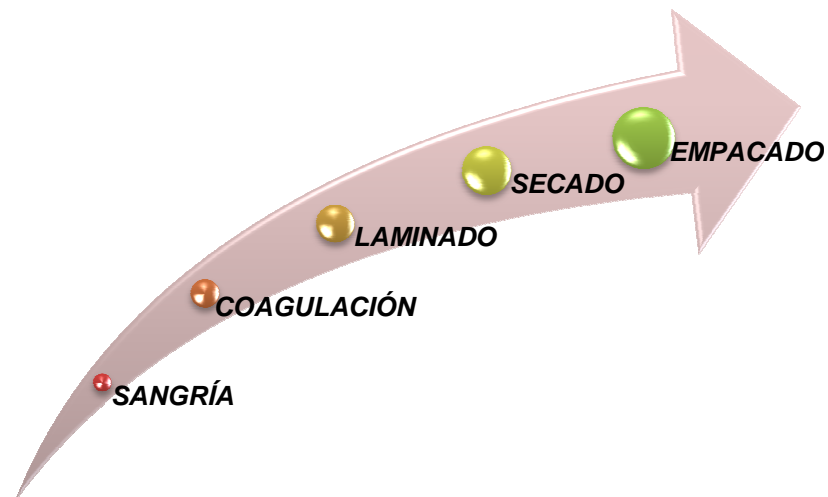


Figura A7. Diagrama de Flujo del Proceso de beneficio del Caucho Natural en Santander

- **SANGRIA**

El látex está contenido en una serie de tubos capilares o tubos laticíferos que se encuentran por todas las partes vivas de la planta, y en particular en las ramas, raíces y tronco. Si se practica una incisión en la corteza del árbol, se produce una abertura en el depósito constituido por los vasos laticíferos, y en consecuencia fluye el látex a lo largo de la incisión, esta operación recibe el nombre de sangría. La sangría se efectúa por un grupo de operarios que reciben el nombre de sangradores [5]. Esta operación se realiza durante las primeras horas de la mañana, momento en el cual el rendimiento del látex es máximo. Una vez rayado el árbol, el látex gotea durante un tiempo aproximado de 2 a 3 horas. Terminada la sangría, el sangrador recoge el látex para llevarlo al sitio de beneficio o procesamiento.

- **COAGULACIÓN**

Una vez recolectado el látex, es llevado al beneficiadero donde es necesario realizar la coagulación, para obtener el caucho sólido. La reagrupación de todas las partículas caucho dispersas en el látex, se consigue agregando ácido. La mezcla látex – ácido se vierte en canoas de madera de 1.50 cm de longitud, 20 cm de ancho y 10 cm de altura, donde permanece 24 horas en reposo. Actualmente en la región se utiliza ácido fórmico como agente coagulante.

- **LAMINADO**

El coagulo obtenido en las canoas se pasa varias veces por un laminador manual, cerrando paulatinamente los cilindros, hasta obtener una lamina de 1,5 a 2 mm de espesor. Después del laminado se lava con abundante agua las láminas obtenidas.

- **SECADO**

Las laminas delgadas y lavadas, se cuelgan en travesaños bajo techo y con buena circulación de aire, obteniéndose secado completo en un rango de 8 a 12 días. No se deben secar a plena exposición solar porque la calidad se disminuye.

- **EMPACADO**

Las láminas secas se empacan en balas rectangulares de 50 a 60 kilos que contienen de 35 a 40 láminas cada una. Las láminas se van pegando mediante pinchazos con una puntilla empotrada en un mango de madera.

ANEXO 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LÁTEX CONCENTRADO SEGÚN NORMA ASTM 1076 – 88

Las propiedades físicas y químicas mínimas especificadas en la norma ASTM 1076 – 88 para látex concentrado se presentan en la Tabla A2.

Tabla A2. Especificaciones Técnicas del Látex Concentrado.

CARACTERÍSTICAS	TIPO DE LÁTEX			
	LÁTEX CENTRIFUGADO		LÁTEX CREMADO	
	HA	LA	HA	LA
Contenido de materiales sólidos totales, mínimo %	61,5	61,5	66	66
Contenido de caucho seco, mínimo %	60	60	64	64
Materias sólidas no caucho, máximo %	2	2	2	2
Alcalinidad (en NH ₃), %	0,6 min.	0,29 máx.	0,55 min.	0,35 máx.
Estabilidad mecánica, mínima	650	650	650	650
Contenido de coágulos, máximo %	0,05	0,05	0,05	0,05
Contenido de cobre, máximo mg/kg de materia sólidas	8	8	8	8
Contenido de magnesio, máximo mg/kg de materia sólidas	8	8	8	8
Contenido de sedimentos, máximo %	0,1	0,1	0,1	0,1
Índice de ácido grasos volátiles (VFA)	Según acuerdo entre los interesados pero no superior a 0,2			
Índice de KOH	Según acuerdo entre los interesados pero no superior a 0,1			
Color	Ninguna coloración azul o gris pronunciada			
Olor	No debe tener olor de putrefacción pronunciada			

FUENTE: ANDRADE C. Adriana M. y PRADA A. Ludy A [9].

ANEXO 5. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LÁTEX CREMADO PROPUESTO.

Después de los resultados obtenidos en las etapas estudiadas experimentalmente, se propone un proceso de producción que reduzca y corrija considerablemente las fallas actuales que provocan desmejora en la calidad. El diagrama de bloques del proceso propuesto se presenta en la Figura A8.



Figura A8. Diagrama de bloques del proceso de cremado propuesto.

- **Recolección y preservación:** Una vez recolectado el látex debe ser preservado para evitar al máximo la formación de coágulo espontáneamente durante el transporte a la planta procesadora. Se debe agregar 20 ml de amoníaco por litro de látex.
- **Filtración:** Se debe filtrar el látex haciéndolo pasar por un tamiz de malla N° 20 con el fin de eliminar hojas, insectos y demás materias extrañas del proceso de producción.
- **Sedimentación:** Se debe dejar en reposo el látex durante 24 horas con el fin de sedimentar y eliminar la arena y demás materia orgánica.

- **Homogenización:** Esta etapa es importante para obtener buenos resultados en el proceso. El látex de todos los cultivos se homogeniza mediante agitación mecánica.
- **Cremado:** Se debe agregar alginato de sodio en una concentración de 1,5 % p/v y agitar mecánicamente durante 20 minutos aproximadamente. Se deja en reposo y cada dos días se realiza separación del látex de la fase acuosa. Se agita nuevamente y se deja de nuevo en reposo.
- **Estabilización:** Es necesario agregar 0,7%v adicional de amoníaco para estabilizar el látex cremado y garantizar su conservación por periodos grandes de tiempo.

**ANEXO 6. ESPECIFICACIONES TECNICAS CAUCHOS TECNICAMENTE
ESPECIFICADOS SEGÚN NORMA ASTM 2227 - 90.**

Las especificaciones técnicas requeridas por la Norma ASTM 2227 – 90 para los seis grados de caucho técnicamente especificados se presentan en la Tabla A3.

Tabla A3. Especificaciones técnicas del caucho técnicamente especificado.

CARACTERÍSTICAS	GRADOS					
	CV	L	5	10	20	50
Contenido de impureza retenida en el tamiz de 45 micras de abertura de malla, % (m/m) máx.	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,5
Plasticidad inicial mínima	-	30	30	30	30	30
Índice de retención de plasticidad (P.I.A) mínimo	60	60	60	50	40	30
Contenido de nitrógeno, % (m/m) máx.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Contenido de materia volátil, % (m/m) máx.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Contenido de cenizas, % (m/m) máx.	0,6	0,6	0,6	0,75	1	1,5
Color, máx. (unidades Lovibond)	-	6	-	-	-	-
Viscosidad Mooney	60±5	-	-	-	-	-

FUENTE: ANDRADE C. Adriana M. y PRADA A. Ludy A. [9].

ANEXO 7. PRODUCCIÓN DE CAUCHO TÉCNICAMENTE ESPECIFICADO TSR

Actualmente el caucho técnicamente especificado se produce a partir de dos tipos de procesos: *Húmedo* y *Seco*.

El sistema de procesamiento seco obtiene caucho técnicamente especificado a partir de láminas secas, crepes, láminas ahumadas, láminas secas al aire y caucho de natas, todos producidos por los pequeños productores. Dependiendo de la calidad de la materia prima y de los métodos de mezclado se producen los diferentes grados de caucho técnicamente especificado. En la figura A9. Se muestra el diagrama de bloques del proceso seco.

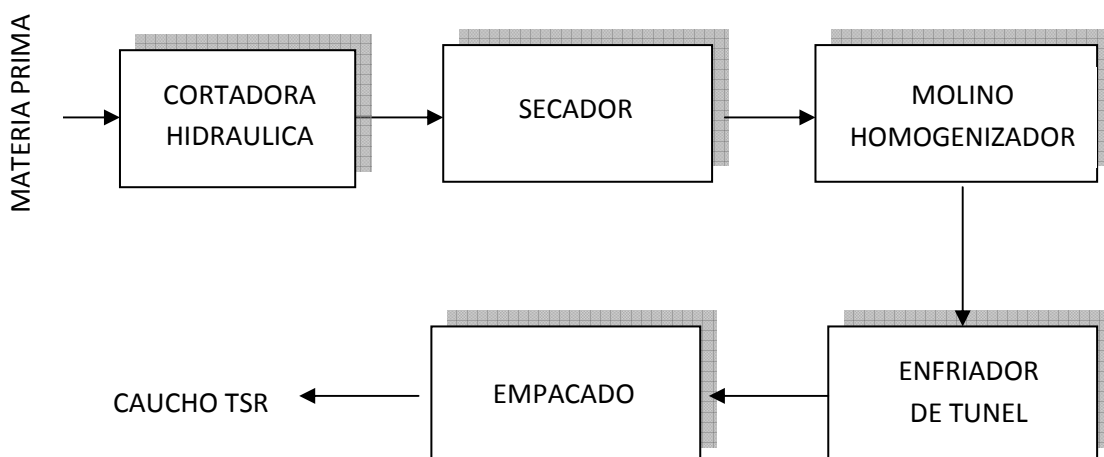


Figura A9. Diagrama de bloques del proceso seco.

FUENTE: ANDRADE C. Adriana M. y PRADA A. Ludy A. [9]

El proceso húmedo consiste en obtener caucho TSR a partir del coágulo del látex, sin procesamiento ni secado previo. En este proceso el látex recolectado es diluido con agua, coagulado y procesado. En la Figura A10 se muestra el diagrama de bloques del proceso húmedo para obtención de caucho TSR utilizado actualmente en el mundo.

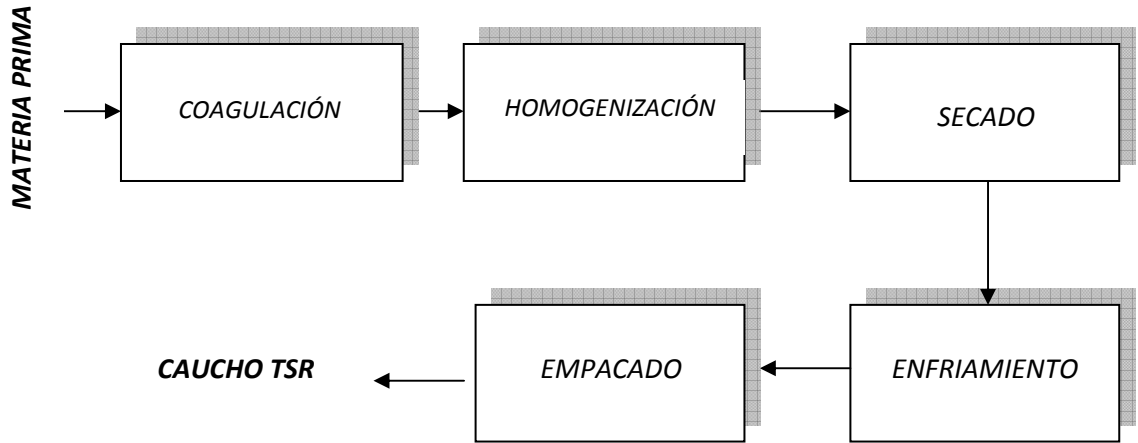


Figura A10. Diagrama de bloques del proceso húmedo de producción de TSR.

FUENTE: ANDRADE C. Adriana M. y PRADA A. Ludy A. [9]

ANEXO 8. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TSR PROPUESTO

Debido a la baja calidad de las láminas producidas en la región y la cantidad de impurezas, materias extrañas y sedimentos que se pueden encontrar en el látex recolectado y caucho, se propone un proceso que ayude a la disminución de los valores elevados de estas propiedades, con el fin de obtener un producto con mejor calidad y limpieza. Para lograr este objetivo se plantea utilizar el proceso húmedo (Anexo 4), con el fin de corregir de raíz las deficiencias en cuanto a limpieza e impurezas, se propone agregar dos etapas a este proceso: una etapa de filtración y una de sedimentación, como se muestra en la figura A11.

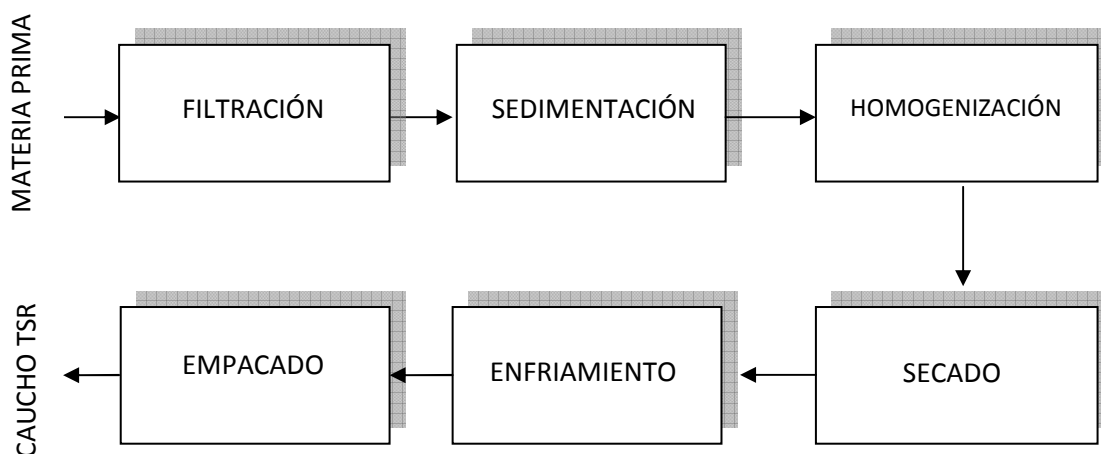


Figura A11. Diagrama de Flujo de proceso húmedo propuesto.

- **FILTRACIÓN**

Esta etapa busca eliminar la mayor cantidad de impurezas adquiridas durante la sangría y recolección. La filtración se debe realizar una vez recogido el látex, haciéndolo pasar por un tamiz N° 20 (0,850 mm). Para realizar satisfactoriamente la filtración y hacerla más cómoda se debe realizar una dilución con agua en una proporción de 1 litro de agua limpia por litro de látex.

- **SEDIMENTACIÓN**

En esta etapa se trata de eliminar las impurezas y sedimentos que no son retenidos en el tamiz. Se debe dejar el látex en reposo durante un periodo no inferior a 24 horas, después del periodo de sedimentación se separa el látex del precipitado.

- **COAGULACIÓN**

Para la coagulación se deben reemplazar las canoas de madera actualmente utilizadas en la región por pequeños tanques de aluminio, con el fin de hacer el proceso más limpio y aséptico. Se agrega el agente coagulante en proporción de 2 ml de ácido cítrico puro por litro de látex, se agita y deja en reposo durante 12 horas. En este periodo los tanques de coagulación deben estar debidamente tapados. Después de realizada la coagulación se separa el coágulo del suero y se lava con abundante agua.

- **HOMOGENIZACIÓN**

La normatividad del caucho técnicamente especificado establece que el coágulo debe estar homogenizado, por lo tanto exige que se reduzca de tamaño a migas de aproximadamente 3 mm de diámetro. Esta operación se realiza en un molino homogenizado que mezcla y reduce de tamaño el coágulo.

- **SECADO**

En esta etapa se busca eliminar lo máximo posible la cantidad de materia volátil contenida, el valor máximo permitido es de 0,8%v. Para lograr porcentajes menores a la especificación, el secado se debe realizar a una temperatura de 130 °C por un tiempo de 3 horas en un secador de corriente de aire caliente. Se debe secar el caucho granulado proveniente del molino

homogenizador en láminas formadas con los gránulos, de aproximadamente 79 cm de largo, 30 cm de ancho y 2 cm de espesor.

- **ENFRIAMIENTO**

El enfriamiento normalmente se realiza en un enfriador tipo túnel a una temperatura de 25 °C. No se deben utilizar temperaturas inferiores con el fin de evitar el aumento de humedad.

- **EMPACADO**

El caucho técnicamente especificado cuenta con normas de empaquetado y distribución comercial. Para su distribución el TSR debe estar empaquetado en bloques de 33,33 kg de peso, con dimensiones de 79 x 40 x 30 cm aproximadamente. Las balas se forman mediante prensado de las láminas delgadas obtenidas en la etapa de secado, el prensado se realiza en una prensadora hidráulica de fuerza mayor a 60 Toneladas Fuerza. Estas balas deben ser empaquetadas en polietileno transparente y selladas.