

**DISEÑO BÁSICO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LATEX DE CAUCHO
NATURAL PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN**

**ADRIANA MILENA ANDRADE CABALLERO
LUDY ANDREA PRADA ARDILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2005

**DISEÑO BÁSICO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LATEX DE CAUCHO
NATURAL PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN**

**ADRIANA MILENA ANDRADE CABALLERO
LUDY ANDREA PRADA ARDILA**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Química**

**Director:
ALVARO RAMIREZ GARCIA
Ph.D. Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2005

*A mi papá, Hugo Hernando, quien me enseñó
que en la universidad se aprende a pensar
para hacer mejor lo que se quiere.*

*A mi mamá, María Claudia, por su vida, paciencia e inteligencia,
por ser mujer, por ser apasionada y sobre todo por ser mamá.*

*Y a mi familia Caballero Badillo por ser quien son
y ayudarme a ser lo que soy.*

Adriana

*A DIOS por el ser el alfa y el omega de mi vida,
a quien debo todo lo que soy y lo que tengo.*

*A mis Padres, MIGUEL y LEONILDE, por su amor, esfuerzo,
confianza y apoyo incondicional en todo momento.*

A mis hermanos por creer y esperar lo mejor de mí.

*Y a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible
llegar a alcanzar esta meta de mi vida*

LUDY ANDREA

AGRADECIMIENTOS

A Mr. T. W. Kang, Gerente de Engmepho Professional Enterprise, EMP, empresa de Malasia que trabaja en el diseño de equipos y líneas para la producción de Caucho Técnicamente Especificado, por creer en nuestro trabajo de grado sin conocernos, responder oportunamente a nuestras inquietudes vía e-mail con aportes novedosos al proceso y por su ayuda incondicional.

A nuestro director el profesor Alvaro Ramírez García por la aceptación de esta idea, su orientación, confianza y apoyo brindada durante el desarrollo de este trabajo.

A la Promotora de Caucho del Magdalena Medio, PROCAUCHO, por su atención y colaboración.

A nuestras familias por brindarnos apoyo y ánimo en la culminación del trabajo y nuestros amigos por escucharnos ideas y ayudarnos a unificarlas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. LATEX Y CAUCHO NATURAL	4
1.1 LÁTEX NATURAL	4
1.2 CAUCHO NATURAL	5
1.3 PRESENTACIONES COMERCIALES DEL CAUCHO NATURAL	7
1.3.1 Tipos y Grados del Caucho Natural	9
1.3.1.1 Látex	11
1.3.1.2 Hojas de Caucho Ahumadas	11
1.3.1.3 Hojas Secadas al Aire	11
1.3.1.4 Caucho Crepe	11
1.3.1.5 Caucho Técnicamente Especificado	12
2. MERCADO DEL CAUCHO NATURAL	12
2.1 ÁMBITO MUNDIAL	12
2.1.1 Panorama de Productores	12
2.1.2 Productos de Caucho Natural	13
2.1.3 Subproductos del Caucho Natural	14
2.1.4 Demanda del Caucho Natural	15
2.2 AMBITO NACIONAL	16
2.2.1 Presentaciones del Caucho Natural	18
2.2.2 Productos de Caucho Natural	19
2.2.3 Subproductos de Caucho Natural	19
2.2.4 Valorización de la Oferta Nacional	20
2.2.5 Demanda del Caucho Natural	20

3.	PROCESO DE BENEFICIO DEL LÁTEX	21
3.1	PROCESO SECO DEL CAUCHO TECNICAMENTE ESPECIFICADO	22
3.1.1	Ventajas del Proceso Seco	23
4.	DISEÑO BÁSICO	24
4.1	PLANTA PEQUEÑA	25
4.1.1	Panorama Actual	26
4.1.2	Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso Artesanal	27
4.2	PLANTA MEDIANA	37
4.2.1	Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso Hevea Crumb.	38
4.3	PLANTA GRANDE	43
4.3.1	Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso de Látex Centrifugado	44
4.3.2	Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso Seco	52
5.	ANÁLISIS Y PRUEBAS	56
5.1	LÁTEX NATURAL	56
5.1.1	Hidrocarburo Caucho	57
5.1.2	Alcalinidad Total	57
5.1.3	Ácidos Grasos Volátiles	57
5.2	CAUCHO NATURAL	58
5.2.1	Suciedad	58
5.2.2	Cenizas	58
5.2.3	Material Volátil	58
5.2.4	Nitrógeno	58
5.2.5	Índice de Retención de Plasticidad	59
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO	60

6.1	PLANTA PEQUEÑA	61
6.2	PLANTA MEDIANA	62
6.3	PLANTA GRANDE	62
6.3.1	Planta de Látex Centrifugado	62
6.3.2	Planta de TSR	63
7.	CONCLUSIONES	64
8.	RECOMENDACIONES	66
	BIBLIOGRAFIA	67
	ANEXOS	71

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Variación de los diversos constituyentes del látex.	5
Tabla 2. Composición Típica del Caucho Natural.	6
Tabla 3. Descripción de los Grados TSR.	11
Tabla 4. Superficie Cosechada y Rendimientos de Caucho Natural en los Principales Países Productores.	12
Tabla 5. Principales Países Consumidores de Caucho Natural.	15
Tabla 6. Áreas en Producción de Caucho Natural en Colombia.	17
Tabla 7. Áreas Sembradas con Caucho en Colombia (Ha.).	18
Tabla 8. Composición del Látex.	25
Tabla 9. Causas y Soluciones de los Defectos Usuales que se Presentan en las Laminas de Caucho.	29
Tabla 10. Recomendaciones para mejorar el Proceso Tradicional.	31
Tabla 11. Balance de Masa del Proceso Artesanal.	36
Tabla 12. Composición del caucho Hevea Crumb.	39
Tabla 13. Balance de Masa del Proceso Hevea Crumb.	41
Tabla 14. Composición del Látex Centrifugado con Alto Amonio.	46
Tabla 15. Balance de Masa del Proceso de Látex Centrifugado.	50
Tabla 16. Balance de Masa del Proceso Seco.	55
Tabla 17. Información Económica de los Proyectos.	60
Tabla 18. Resultado del Análisis Económico de la Planta Pequeña.	61
Tabla 19. Resultados del Análisis Económico de la Planta Mediana.	62
Tabla 20. Resultados del Análisis Económico de la Planta de Látex.	63

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Demanda Mundial del Caucho Natural según las Calidades (1999).	16
Figura 2. Usos del Látex Natural Concentrado a Nivel Mundial.	16
Figura 3. Usos del Caucho Natural a Nivel Mundial.	16
Figura 4. Diagrama de Bloques del Proceso de Beneficio del Látex.	21
Figura 5. Diagrama de Bloques del Proceso Artesanal.	27
Figura 6. Diagrama de Flujo del Proceso Artesanal.	35
Figura 7. Diagrama de Bloques del Proceso Hevea Crumb.	38
Figura 8. Diagrama de Flujo del Proceso Hevea Crumb.	40
Figura 9. Diagrama de Bloques del Proceso de Látex Centrifugado.	45
Figura 10. Diagrama de Flujo del Proceso de Látex Centrifugado.	48
Figura 11. Diagrama de Bloques del Proceso Seco.	52
Figura 12. Diagrama de Flujo del Proceso Seco.	54

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Propiedades del Látex Natural.	72
Anexo B. Propiedades del Caucho Natural.	78
Anexo C. Especificaciones de los Tipos de Caucho Natural.	80
Anexo D. Estructura de la Cadena del Caucho.	85
Anexo E. Departamentos Productores de Caucho Natural en Colombia.	86
Anexo F. Proceso de Beneficio del Látex.	87
Anexo G. Características de la Zona de Cultivo.	104
Anexo H. Explotación de los Árboles de Caucho.	105
Anexo I. Memorias de Cálculo.	109
Anexo J. Hoja de Especificación para la Laminadora L1.	120
Anexo K. Equipos para la Planta Mediana.	121
Anexo L. Equipos para la Planta de Látex Centrifugado.	128
Anexo M. Equipos para el Proceso Seco.	142
Anexo N. Costos Generales.	147

TITULO[†]: DISEÑO BÁSICO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LÁTEX DE CAUCHO NATURAL PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN.

AUTORAS: ANDRADE CABALLERO, Adriana Milena y PRADA ARDILA, Ludy Andrea.**

PALABRAS CLAVES: Látex, Diseño, Beneficio, Caucho Natural, Caucho Técnicamente Especificado, Proceso Seco, Hevea Crumb.

CONTENIDO:

En Colombia, a nivel de cultivo de caucho natural ya se cuenta con un conocimiento sobre el tratamiento técnico de semillas, viveros, control de plaga, etc, adecuado a las diferentes zonas del país, pero a nivel industrial, se está en mora de profundizar en la investigación tecnológica y económica del sector cauchero. Analizando las ventajas y deficiencias del proceso de beneficio del caucho natural, se realizaron diseños básicos que incluyen recomendaciones para los pequeños productores y se proponen nuevas alternativas de producción para mejorar la calidad del caucho natural nacional.

Los diseños básicos se basan en aproximaciones del proceso y estimaciones generales de los costos. En el primer diseño para una pequeña producción, se propone la utilización de equipos sencillos y económicos para tecnificar el proceso tradicional de beneficio del caucho natural. El segundo diseño para una mediana producción, es una alternativa de asociación de productores de caucho natural y se basa en el proceso Hevea Crumb para producir Caucho Técnicamente Especificado (TSR). El último diseño para una gran producción consta de dos propuestas, una para producir TSR a partir de las láminas de caucho producidas actualmente en el país con el proceso seco y otra para obtener látex centrifugado.

En el trabajo se recomienda la utilización de un secador solar para mejorar las características de las láminas de caucho, aunque se requiere de mayor investigación para determinar la cinética de secado del caucho natural. Además, se concluye que el proceso seco es una buena alternativa de producción de TSR ya que es sencillo, se adapta a la producción realizada por los pequeños productores, es menos agresivo con el medio ambiente y resultó rentable al realizar la estimación de los costos y calcular los índices de evaluación económica.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Química
Escuela de Ingeniería Química
Director: Dr. Alvaro Ramírez García

TITLE^{*}: BASIC DESIGN OF A NATURAL RUBBER LATEX PROCESSOR PLANT FOR DIFFERENT PRODUCTION CAPACITIES.

AUTHORS: ANDRADE CABALLERO, Adriana Milena and PRADA ARDILA, Ludy Andrea^{}.**

KEY WORDS: Latex, Design, Benefit, Natural Rubber, Technically Specified Rubber, Dry Process, Hevea Crumb.

DESCRIPTION:

In Colombia, at level of natural rubber cultivation there is already a knowledge of the technical treatment of seeds, breeding grounds, plague control, etc, which has been adapted to the different zones of the country, but at industrial level, it is waiting for its deepening in the technological and economic research of the rubber sector. Analyzing the advantages and deficiencies of the natural rubber benefit process, basic designs have been carried out which include recommendations for small producers and new alternatives of production are proposed in order to improve the national natural rubber quality.

The basic designs are based on approaches of the process and general estimations of costs. In the first design for a small production, the use of simple and economic equipment to improve technically the traditional process of natural rubber benefit is proposed. The second design for a medium production is an alternative of natural rubber producers association and it is based on the Hevea Crumb process to produce Technically Specified Rubber (TSR). The last design for a big production consist on two proposals, one to produce TSR from the rubber sheets which are produced at the moment in the country by the dry process and the other one to obtain centrifuged latex.

In the work the use of a solar dryer is recommend to improve the characteristics of the rubber sheets, although it is required a greater investigation in order to determine the drying kinetics of the natural rubber. In addition, it is concluded that the dry process is a good alternative to produce TSR since it is simple, it is adapted to the production made by the small producers, it is less aggressive with the environment and it was found to be profitable when making the cost estimation and calculating the indexes of economic evaluation.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas,
Escuela de Ingeniería Química
Director: Dr. Alvaro Ramírez García

INTRODUCCIÓN

En Colombia se consumen aproximadamente 30.000 toneladas anuales de caucho natural y tan solo se producen 4.610 a pesar de tener disponibilidad de tierras e infraestructura no sólo para ser autosuficientes sino producir excedentes para la exportación. A su vez, a nivel nacional existen más de 300 empresas diversificadas que requieren el caucho natural como materia prima para obtener productos elaborados, aumentando progresivamente la demanda anual de caucho natural. Todo lo anterior ha conducido a que el gobierno nacional desarrolle programas para fomentar la expansión del cultivo de caucho, por medio del Ministerio de Agricultura y Federación Nacional de Productores de Caucho Natural de Colombia “FEDECAUCHO”, y a través de incentivos con créditos blandos y exención de renta líquida gravable.

Una adecuada estrategia de incentivo tanto a nivel agrícola como industrial puede llegar a fortalecer la cadena agroindustrial del caucho en Colombia, sin embargo, hay que resaltar que a nivel de cultivo, ya se cuenta con un conocimiento sobre el tratamiento técnico de semillas, viveros, producción de varetas para injerto, control de plaga, etc, adecuado a las diferentes zonas del país, respaldado por ensayos y observaciones de campo controladas, lo que permite mayor éxito en las plantaciones futuras; pero que a nivel industrial, es claro que el país está en mora de profundizar en la investigación tecnológica y económica del sector cauchero.

La calidad del caucho obtenido a nivel de la plantación, depende especialmente del procesamiento que se le da al látex. El látex recolectado puede ser preservado y concentrado para comercializarlo como látex natural o coagulado y transformado en diversos grados de caucho natural seco.

El proceso de beneficio del caucho natural a nivel nacional es desarrollado en su mayoría por pequeños productores, en espacios muy sencillos y pequeños mediante la aplicación de métodos artesanales, produciéndose caucho en lámina que se clasifica según sus características visibles. Sin embargo, la industria colombiana, al igual que en el resto del mundo, demanda Caucho Técnicamente Especificado (TSR), esto relega la producción interna a la pequeña y mediana industria de pegantes que demanda caucho de menor calidad.

Como un primer paso para el desarrollo e investigación tecnológica del procesamiento del caucho natural, se realizan diseños básicos para diferentes capacidades de producción, basados en aproximaciones del proceso y estimaciones generales de los costos y con esto determinar si estudios detallados del proceso deben realizarse posteriormente.

Analizando las ventajas y deficiencias del proceso de beneficio llevado a cabo en el país, se realizan diseños básicos que incluyen recomendaciones para los pequeños productores y proponen nuevas alternativas de producción para mejorar la calidad del caucho natural nacional.

El primer diseño o planta pequeña de 10 hectáreas de caucho natural en producción, va dirigido al campesino y se basa en una tecnología básica y económica. La planta mediana de 150 hectáreas, es una alternativa de asociación de productores de caucho natural y su diseño se basa en el proceso Hevea Crumb para producir caucho en desmigajado. El diseño de la planta grande para 2000 hectáreas, consta de dos propuestas, una de producción de látex centrifugado y otra de Caucho Técnicamente Especificado utilizando el proceso seco, cuya materia prima son las láminas de caucho producidas actualmente en el país.

Por último, se realiza la estimación de costos a cada proyecto y con los índices de evaluación económica se encuentra que el pequeño productor puede seguir

realizando el proceso de beneficio de caucho laminado basándose en las recomendaciones propuesta, las cuales no modifican drásticamente su método artesanal y no genera pérdidas. Por otra parte, el proceso seco resulta ser rentable y una buena alternativa de producción de Caucho Técnicamente Especificado ya que se adapta a la producción tradicional del país.

1. LÁTEX Y CAUCHO NATURAL

1.1 LÁTEX NATURAL

El látex es un polímero (principalmente cis-1,4-polisopreno) disperso en agua que contiene además proporciones variables de sustancias orgánicas y minerales. Se encuentra en ciertas células especializadas, llamadas lactíferas, en diferentes plantas distribuidas en varios países del mundo, entre las que se destacan las del tipo Hevea, cuyos cultivos se encuentran en las zonas intertropicales de América del Sur, África y Asia.

El látex se extrae de los árboles mediante la sangría, que consiste en la remoción de una pequeña porción de corteza hasta alcanzar los vasos laticíferos. La primera sangría se recomienda entre los cinco y siete años, la mejor época para iniciarla es al final de un período seco, no debe coincidir con la temporada de lluvias ni con la refoliación de los árboles. Una vez iniciado, este procedimiento puede efectuarse durante 25 y 30 años, cada tres días o dos días por semana.

El látex es un líquido blanco cuyo color puede variar a amarillento según su origen; con un contenido de hidrocarburo caucho entre el 30 a 40%, y un pH ligeramente alcalino, que rápidamente se vuelve ácido, como consecuencia de la acción de ciertos microorganismos o enzimas presentes en el látex, que provocan coagulación espontánea a las pocas horas de ser sangrado, por lo que hace necesario un proceso de preservación.

Además de caucho y agua, el látex presenta una gran variedad de sustancias químicas llamadas constituyentes no caucho, que representan del 7 – 8% de los sólidos totales en el látex normal y cerca del 3% en el caso de látex centrifugado. La proporción de estos constituyentes y su composición varían principalmente con

las condiciones climáticas (humedad, sequedad), la actividad fisiológica (invernación, reposo foliar), y el ciclo biológico (crecimiento, maduración).

En la tabla 1, se indica el rango de composición de los principales constituyentes del látex natural fresco.

Tabla 1. Variación de los diversos constituyentes del látex.

CONSTITUYENTES	COMPOSICIÓN, %
Hidrocarburo de Caucho (1,4-cis-poliisopreno)	30 – 40
Agua	55 – 70
Proteínas	1,5 – 3
Resinas	1,5 – 2
Azúcares	1 – 2
Cenizas	0,5 – 1

FUENTE: www.tis-gdv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm

Desde el punto de vista técnico, lo esencial no consiste en conocer de forma detallada todas las sustancias no caucho, sino la influencia de la composición sobre las propiedades del caucho y de los látex utilizados en la industria (Anexo A).

La densidad da una medida aproximada de la cantidad de hidrocarburo caucho presente en el látex. Su peso específico es la resultante de los pesos específicos del suero y de las partículas de caucho en suspensión y está comprendido entre 0.973 y 0.979 [2]. (Anexo A).

1.2 CAUCHO NATURAL

El caucho natural es el producto de la coagulación del látex, por lo tanto, su composición depende de la del látex, y de los tratamientos que sufre para ser transformado en caucho.

El caucho bruto no es un polímero bien definido, sino que se encuentra constituido por una serie de polímeros homólogos [3]. Se sabe que la fórmula bruta del hidrocarburo de caucho es $(C_5H_8)_n$, que representa un hidrocarburo polietilénico y por tanto se pueden efectuar reacciones de adición, sustitución, escisión, isomerización, ciclización y polimerización de los derivados etilénicos [3, 15].

No hay un método directo y sencillo que permita determinar la cantidad de hidrocarburo caucho. Cuando se analiza un caucho se limita a la determinación del contenido de humedad, extracto acetónico, proteínas y cenizas, mientras el hidrocarburo caucho se obtiene por diferencia. El rango de la composición de los constituyentes del caucho se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Composición Típica del Caucho Natural.

Constituyentes	Promedio (%)	Rango (%)
Humedad	0.5	0.3-1.0
Extracto Acetónico	2.5	1.5-4.5
Proteínas	2.5	2.0-3.0
Cenizas	0.3	0.2-0.5
Hidrocarburo de Caucho	94.2	

FUENTE: MORTON, Maurice. Rubber Technology. 2 ed. 1973

La influencia que tiene cada uno de los constituyentes no caucho sobre las propiedades del caucho son [3]:

- *Humedad*: puede tener influencia sobre las propiedades mecánicas del caucho y favorece el desarrollo de ciertos microorganismos. Un secado insuficiente, un tratamiento de ahumado (el humo contiene sustancias higroscópicas) o un almacenamiento en lugares húmedos, conlleva a un aumento de la humedad.
- *Extracto acetónico*: principalmente por lípidos, especialmente ácidos grasos, además de glucósidos de esteroides. Los ácidos grasos y los antioxidantes son

los que tienen mayor influencia sobre las propiedades del caucho. La cantidad de ácidos grasos es importante por su efecto sobre la vulcanización. Se cree que los esteroides y ésteres contienen el antioxidante eficaz para la conservación del caucho crudo contra la oxidación, ablandamiento y/o segregación de resina (resinificación) durante el almacenamiento.

- *Prótidos*: Tienen una relación directa con la adsorción de agua e influyen en la velocidad de vulcanización. Su proporción y naturaleza varía tanto por los factores biológicos como por la variación de los métodos de preparación del caucho.
- *Cenizas*: Son los constituyentes minerales presentes en el caucho. Al preparar el caucho, en las etapas de dilución, coagulación y lavado se rebaja la proporción de cenizas hasta un 16% de su total.

Las propiedades físicas del caucho natural pueden variar ligeramente debido a la presencia de constituyentes no caucho y al grado de cristalinidad (Anexo B). Su peso específico es de 0.92 a temperatura ambiente, y cambia a 0.95 cuando ocurre una cristalización [8].

El caucho es un material elástico, es decir, tiene la capacidad de soportar grandes deformaciones y de volver a su forma inicial. Cuando el caucho es estirado, sufre una ligera disminución de volumen que lleva consigo un aumento de densidad. El caucho estirado es un medio anisótropo, las propiedades varían en todas direcciones [3].

1.3 PRESENTACIONES COMERCIALES DEL CAUCHO NATURAL

El látex puede ser preservado y concentrado para ser comercializado como látex natural (caucho líquido) o coagulado y transformado en diversos tipos de caucho

natural seco, como: láminas secadas al aire, láminas ahumadas, hojas crepe, caucho granulado reaglomerado y caucho técnicamente especificado (TSR).

Por la coagulación espontánea del látex se forman diferentes desechos o scraps, que son utilizados para la fabricación de caucho seco de menor calidad, como lo son algunos tipos de crepe y de TSR. Dentro de las denominaciones más comunes dadas a los scraps se encuentran [1, 8]:

- *Sernamby o cintilla*: película de látex coagulado sobre la incisión, el drenaje y el canaleta al terminar el escurrimiento del látex.
- *Cup lump o fondos de taza*: látex que se coagula espontáneamente en las tazas o baldes de recolección. Estos junto con las cintillas constituyen el 8% de la producción total de caucho natural.
- *Scump*: producido por la espuma que se reúne en la superficie en los tanques de coagulación.
- *Bark scraps o Caucho de corteza*: es el caucho recuperado de la corteza de los árboles, por posibles escurrimientos del látex durante el sangrado. Constituye el 2,5% de la producción total de caucho natural.
- *Earth scraps o Caucho de tierra*: constituido por el látex que escurre al pie de los árboles o es derramado accidentalmente. Es muy oxidado y contiene tierra y arena. Constituye el 4% de la producción de la producción total de caucho natural.

El caucho natural en forma de hojas constituye el tipo caucho seco más antiguo y sencillo producido en pequeña escala. Dos tipos de hojas son producidas y comercializadas en el mercado internacional, las hojas secadas al aire y las hojas de caucho ahumadas.

El caucho crepe se prepara a partir de látex o de scraps; en los últimos años predomina la producción de scraps [23].

1.3.1 Tipos y Grados del Caucho Natural

Universalmente se diferencian tipos de caucho natural con base en el color y la cantidad de impurezas. Estas características, que influyen poderosamente en el mercado, son una consecuencia directa del proceso de beneficio y manipulación del caucho. Actualmente, los tipos de caucho natural de mayor comercialización son:

1.3.1.1 Látex. Se presenta en forma líquida y concentrada, luego de que el látex recolectado es tratado con amoníaco para evitar su coagulación espontánea y se le ha eliminado un alto porcentaje de agua. Se clasifica de acuerdo con la norma ISO2004 (Anexo C), según el proceso utilizado para su concentración.

1.3.1.2 Hojas de Caucho Ahumadas. Estas hojas se denominan RSSX, donde la X determina la procedencia, solo se producen a partir de látex natural y se gradúan basándose en una valoración visual, según su color, consistencia y presencia de impurezas. Internacionalmente existen las calidades IX, 1, 2 y 3, aunque es posible encontrar otros grados de clasificación en el mercado, por ejemplo, la RMA (Rubber Manufacturers Association, New York) establece las calidades 4 y 5 (Anexo C).

1.3.1.3 Hojas Secadas al Aire (ADSX). Producidas a partir de látex natural y se clasifican visualmente, según su color y cantidad de impurezas.

1.3.1.4 Caucho Crepe. Uno de los más usados en la industria del calzado, y se denominan NRCX (Anexo C). Se reconocen diferentes clases, como el crepe pálido, marrón, ámbar, entre otros. Dependiendo de su espesor son Thin Crepe

(tipo delgado) o Thick Crepe (tipo grueso). Sus grados de clasificación se establecen primordialmente según el tipo de materia prima y el color.

1.3.1.5 Caucho Técnicamente Especificado (TSR). Estos cauchos se producen atendiendo a las normas ISO 2000, ISO / TC 115 y las normas TCR. Dentro de la clasificación que se hace a los TSR se atienden varios parámetros, como la denominación, tipos especiales y grados [24].

- La denominación va de acuerdo al país de origen, las formas más comunes en el comercio mundial son las de Malasia SMR, Indonesia SIR, y Singapur SSR.
- Los tipos especiales de TSR en la mayoría de las veces se fabrican por requerimientos explícitos de los compradores, ya que tienen características muy bien definidas que son requeridas por estos. (Anexo C).
- Los grados de los TSR dependen de características básicas (Anexo C), dándoles una denominación dependiendo del porcentaje máximo de impurezas permitidas y después de realizar las pruebas pertinentes, según la tabla 3.

Los Cauchos Técnicamente Especificados presentan ventajas sobre los cauchos tradicionales, entre las que se destacan:

- Están disponibles en un número limitado de grados bien definidos, permitiendo una fácil y correcta elección de las calidades requeridas por los consumidores.
- Se conoce su contenido de impurezas y material volátil, por lo tanto, es posible establecer el precio adecuado para cada tipo de caucho.
- Es comercializado en forma compacta, y empacado en polietileno, que previene la degradación del caucho durante su almacenamiento, manejo y transporte.
- Al presentarse en un tamaño compacto y estándar, puede facilitar su transporte a través del manejo mecanizado.

Tabla 3. Descripción de los Grados TSR [30].

	Materia Prima	Características generales	Posibles usos
TSR - CV	Látex fresco de alta calidad	<ul style="list-style-type: none"> - Su viscosidad Money se estabiliza en un rango reducido. - Es el caucho más suave. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monturas mecánicas para el motor y maquinaria. - Sistemas de suspensión de vehículo. - Componentes generales de automotores.
TSR-L	Látex de alta calidad y de bajo contenido de caroteno	<ul style="list-style-type: none"> - Caucho de color claro y limpio. - Tiene un bajo contenido de suciedad y cenizas. - Excelente resistencia al envejecimiento. - Excelentes propiedades de vulcanización teniendo alto esfuerzo de tensión, módulo y alargamiento a la fractura. 	<p>Puede usarse para los productos transparentes y de colores claros como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - las bandas de caucho - los productos quirúrgicos y farmacéuticos - máscaras de gas - aletas del natación y gorras - los tubos de la bicicleta - chicle - pelotas de tenis - soluciones de adhesivo y cintas.
TSR-5	<ul style="list-style-type: none"> - Látex fresco. - Fondos de tasa frescos. - A partir de hojas ahumadas y hojas secadas al aire producidas por los pequeños productores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su contenido de impurezas es bajo. - Su color es claro. - Se caracteriza por su esfuerzo superior. - Se procesa bien sobre todo en la extrusión y calandrando. 	<ul style="list-style-type: none"> - Productos destinados para la fricción y extrusión. - Sellos de anillos. - Cojines de goma. - Separadores, adhesivos, etc.
TSR - 10	<ul style="list-style-type: none"> - Látex fresco. - A partir de la mezcla de fondos de tasa, cintillas, y coágulos de campo limpios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su color es de café claro. - Al compararlo con el RSS 2 y 3, el TSR-10 presenta una viscosidad más baja y características que facilitan su mezclando. 	<ul style="list-style-type: none"> - Neumáticos. - Impermeables. - Tapicería y empaque. - Bandas transportadoras. - En el calzado.
TSR-20	<ul style="list-style-type: none"> - Fondos de tasa. - Cintillas. - Coágulos de campo. - Con las más bajas calidades de RSS. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es de color café. - Es el de mayor producción. - Tiene excelentes características de procesamiento. - Sus propiedades físicas son buenas. - Su viscosidad baja y sus características de fácil mezclado, reducen el periodo de masticación y mezclando. 	<ul style="list-style-type: none"> - Neumáticos. - Llantas de bicicleta. - Impermeables. - Tapicería y empaque. - Bandas transportadoras. - En el calzado.
TSR-50	<ul style="list-style-type: none"> - Coágulos de campo secos y viejos. - Partes de caucho degradado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es de color café profundo. - Es la calidad más baja de TSR. - Es un caucho de viscosidad baja y con características de fácil mezclado comparado con las calidades bajas de RSS y crepe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Productos de calzado de baja calidad. - Moldes negros para artículos.

2. MERCADO DEL CAUCHO NATURAL

2.1 ÁMBITO MUNDIAL

2.1.1 Panorama de Productores

La tabla 4 muestra los países productores, el área plantada y el rendimiento por hectárea.

Tabla 4. Superficie Cosechada y Rendimientos de Caucho Natural en los Principales Países Productores.

Puesto	PAIS	1999		2003	
		Área Plantada Ha.	Rendimiento Tn/Ha	Área Plantada Ha.	Rendimiento Tn/Ha
1	Indonesia	2.300.000	0,70	2.700.000	0,60
2	Tailandia	1.548.000	1,42	1.990.000	1,52
3	Malasia	1.400.000	0,55	1.193.000	0,50
4	Viet Nam	394.900	0,63	506.000	0,77
5	China	417.970	1,17	420.000	1,31
6	India	387.000	1,56	400.000	1,63
7	Nigeria	297.500	0,36	330.000	0,34
8	Sir Lanka	158.154	0,61	157.000	0,57
9	Liberia	100.000	1,00	115.000	0,94
10	Brasil	75.000	0,93	102.000	0,94
11	Filipinas	91.496	0,77	90.000	0,86
12	Costa de Marfil	67.000	1,77	70.000	1,76
13	Myanmar	47.359	0,49	62.000	0,58
14	Bangladesh	30.000	0,10	52.000	0,10
15	Guatemala	35.000	1,06	44.100	1,13
20	México	12.000	1,83	12.800	1,76
23	Ecuador	3.715	0,61	5.977	1,50
26	Rep. Centroafricana	1.200	0,83	1.200	0,83
	MUNDO	7.523.251	0,89	8.276.377	0,91

FUENTE: FAO. Cálculos Observatorio Agrocadenas.

PDF: Cadena del Caucho en Colombia. Una mirada global a su estructura y dinámica 1991-2005.

Los países asiáticos son los mayores productores de caucho natural, con aproximadamente el 92% de la producción mundial, mientras que los países de África y América representan solamente el 6% y 2% respectivamente de la producción mundial. Sin embargo, el rendimiento en kilogramos de caucho natural por hectárea que presenta América sobrepasa ventajosamente al de Asia.

En los grandes países productores predomina la producción con centros de acopio y plantas transformadoras en procesos en serie que brindan excelentes rendimientos. Más del 80% de la producción de caucho natural se realiza en pequeñas granjas, las cuales, por lo regular, no superan las dos hectáreas en extensión.

La producción de caucho natural presenta un crecimiento notable durante los últimos años, explicado principalmente por la masificación del automóvil, aunque otros elementos como la aparición del VIH, incrementó sustancialmente la demanda por guantes y preservativos de látex [32]. Otro elemento importante durante los últimos años es el alto nivel de precios del petróleo, que de seguir con la tendencia actual podría generar una alta sustitución en el consumo del caucho sintético por el natural, incentivando la producción de este último.

2.1.2 Productos de Caucho Natural

La Cadena del Caucho comprende desde el cultivo de los árboles de caucho, pasando por el beneficio hasta obtener el caucho natural, y todos los procesos con él emprendidos por la industria como mezclado, fabricación de forma básicas y fabricación de productos finales como llantas, neumáticos y demás (Anexo D).

Los productos elaborados a base de caucho natural o aquellos que en alguno de sus componentes involucran al caucho natural como materia prima, son numerosos. Para facilitar su identificación se pueden agrupar en [7]:

- *Industria Llantera:* Utiliza las dos terceras partes del caucho natural producido en el mundo. En esta se incluyen llantas convencionales y radiales, neumáticos, vulcanización y reencauche.
- *Artículos de caucho de alta tecnología:* Estos artículos utilizan un 5% del resto de la producción mundial de caucho, y son exigentes en cuanto a materias primas y condiciones de fabricación. Algunos ejemplos son: artículos médicos y farmacéuticos, piezas de ingeniería y artículos deportivos como balones profesionales, etc.
- *Artículos de mediana tecnología:* Pueden llegar a representar el 15% del consumo no utilizado por la industria llantera. Básicamente están constituidos por repuestos de caucho para automotores y maquinaria, bandas transportadoras y ciertos insumos para el calzado.
- *Artículos de caucho de baja tecnología:* Este tipo de artículos poseen características estandarizadas, materias primas y formulaciones claramente definidas por la experiencia, tiempos y temperaturas conocidos. Algunos son: suelas estándares para zapatos, bolsas para hielo y agua, ruedas para carretilla, etc.; estos constituyen el 80% de la manufactura del caucho restante.

2.1.3 Subproductos del Caucho Natural

Los subproductos más comunes del árbol de caucho natural son la madera y las semillas.

El árbol de caucho es maderable después de cumplir su vida útil como productor de látex, es decir, aproximadamente cuando alcanza los 35 años. La utilización de la madera comúnmente se efectúa como madera estructural, combustible, madera para carpintería, pasta para papel y carbón vegetal.

De las semillas de caucho se extrae aceite, el cual puede llegar a alcanzar un valor industrial comparable al del aceite de linaza, actualmente se está utilizando en algunas partes del mundo en la fabricación de pinturas y barnices, jabones, aceites epoxidados (para la fabricación de revestimientos anticorrosivos y productos adhesivos), entre otros. Adicionalmente, a nivel nutricional se destaca el papel de las tortas de caucho (resultante de la extracción del aceite de la semilla del caucho), y la harina de semillas de caucho en la fabricación de concentrados para la alimentación animal.

2.1.4 Demanda del Caucho Natural

Estados Unidos, y los países Asiáticos son los principales consumidores de caucho natural, como lo indican las cifras de la tabla 5, para el año 2000.

Tabla 5. Principales Países Consumidores de Caucho Natural.

PAIS	CONSUMO Tn.	%
Estados Unidos	1.191.000	16,2
China	1.080.000	14,7
Japón	751.000	10,2
India	637.000	8,7
Malasia	345.000	4,7
Sur de Corea	331.000	4,5
Francia	309.000	4,2
Tailandia	242.000	3,3
Alemania	250.000	3,4
Brasil	210.000	2,9
Total Consumido	7.360.000	100,0

FUENTE: FEDECAUCHO.

PDF: Visión Mundial y Nacional del Cultivo del Caucho, 2003.

La comercialización mundial del caucho se realiza principalmente en las presentaciones como el TSR L5, 10 y 20, RSS y látex; y su consumo es dominado por la industria llantera, como se aprecia en las figuras 1 a 3.

FUENTE: PDF: La Competitividad del Caucho en Colombia. 2002.

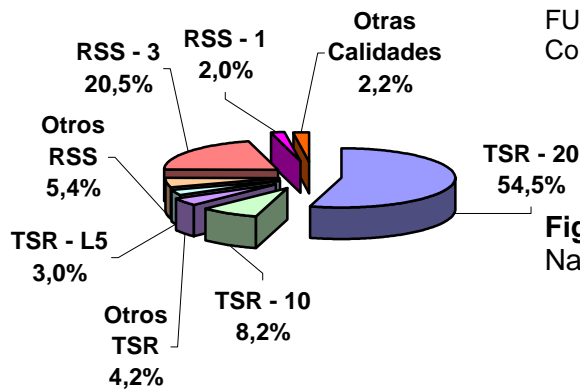


Figura 1. Demanda Mundial del Caucho Natural según las Calidades (1999).

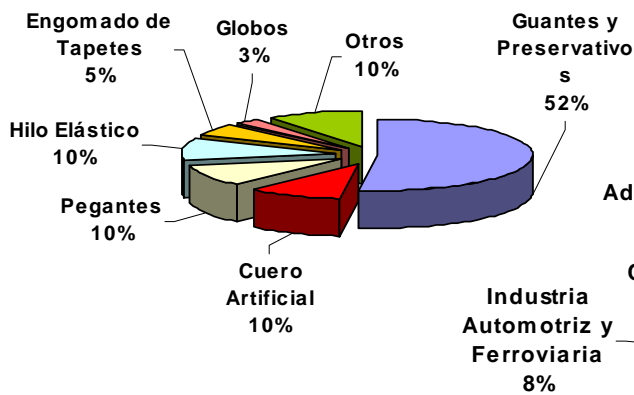
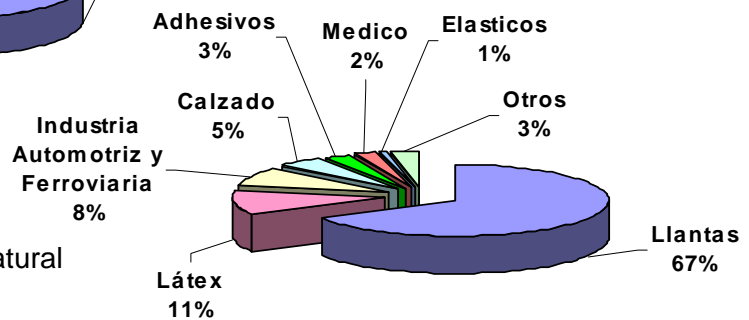


Figura 2. Usos del Látex Natural Concentrado a Nivel Mundial.

Figura 3. Usos del Caucho Natural a Nivel Mundial.



FUENTE: PDF: Acuerdo Sectorial de Competitividad de la Cadena Productiva del Caucho Natural y su Industria.

2.2 AMBITO NACIONAL

Actualmente, en Colombia, el fomento al cultivo del caucho recibe gran impulso por parte del gobierno nacional, mediante el Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria PRONATA, y el Plan Nacional de Desarrollo Alternativo PLANTE, como alternativa para la sustitución de cultivos ilícitos y para mejorar la calidad de vida del habitante rural.

Colombia se caracteriza por ser un país netamente importador de caucho natural, su producción anual de aproximadamente 4.610 toneladas, es insuficiente para

suplir la demanda interna, que si bien se ha venido reduciendo durante los últimos años, aún supera ampliamente la producción nacional. Durante los últimos años la industria del caucho se ha visto forzada a importar cerca de 22.000 Tm. anuales en promedio, que constituyen el 95% del caucho consumido en Colombia.

Se estima que en el país, hay cerca de 10.000 Ha. plantadas y aproximadamente 4300 hectáreas están en etapa productiva, distribuidas en las regiones de Amazonia, Orinoquía, Zona Cafetera y Magdalena Medio, como se aprecia en la tabla 6. (Anexo E).

Tabla 6. Áreas en Producción de Caucho Natural en Colombia.

REGIÓN	AREA EN PRODUCCIÓN (Ha)	PARTICIPACIÓN NACIONAL (%)	PRODUCCIÓN (TON)	PARTICIPACIÓN NACIONAL (%)
Caquetá	2318	53,89	2615	56,72
Caldas	607	14,11	576	12,49
Meta	399	9,27	379	8,22
Putumayo	253	6	240	5,2
Guaviare	225	5,23	214	4,64
Antioquia	170	3,95	259	5,62
Tolima	90	2,1	85	1,85
Santander	52	1,2	50	1,1
Otros	187	4,34	192	4,16
TOTAL	4301	100	4610	100

FUENTE: GOMEZ, Laureano, ICA 2000; Comunicación Directa

Como resultado de los incentivos las áreas sembradas han venido aumentando paulatinamente, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 7. Áreas Sembradas con Caucho en Colombia (Ha.)

DEPARTAMENTO	ÁREA ANTES 2003	SIEMBRAS 2003	METAS DE SIEMBRA 2004
Antioquia	357	240	1.000
Arauca	20	0	0
Bolívar	0	0	100
Boyacá	50	0	0
Cundinamarca	235	25	300
Casanare	20	0	0
Caldas	325	50	100
Cauca	50	100	100
Caquetá	3.995	750	900
Córdoba	0	0	400
Guaviare	900	300	400
Meta	760	0	0
Norte de Santander	10	0	400
Quindío	10	0	0
Santander	600	480	1.500
Tolima	600	0	200
Putumayo	723	600	600
Total	8.655	2.545	6.000

FUENTE: Secretario Técnico de la Cadena del Caucho.

PDF: Cadena del Caucho en Colombia. Una mirada global a su estructura y dinámica 1991–2005

2.2.1 Presentaciones del Caucho Natural

En general en todas las zonas productoras del país se obtiene láminas secadas al aire y ripio¹. En una menor escala, está el caucho natural granulado y solamente la empresa Prohaciendo (Tolima), produce crepé. Sin embargo, el más demandado por la industria es el caucho técnicamente especificado.

Colombia es uno de los pocos países, sino el único donde se comercializa con ripio, ya que a nivel internacional se comercializa con presentaciones elaboradas de este (caucho seco de baja calidad).

¹ Está constituido por los fondos de tasa y las cintillas, son recogidos, empacados y comercializados sin recibir ningún tratamiento. Ofrece características favorables para su uso industrial.

2.2.2 Productos de Caucho Natural

El caucho nacional es empleado por innumerables industrias manufactureras. El sector llanero no utiliza el caucho natural nacional e importa todo el caucho que demanda la fabricación de sus productos, ya que requiere el de calidad TSR-20.

El caucho producido en Colombia es comprado por la pequeña y mediana industria de cauchos y adhesivos, éstas son las que manufacturan ruedas para carretillas, reencauche, pegantes, artículos deportivos, mangueras, suelas, tacones, calzado, tapetes, empaques y bandillas de caucho.

2.2.3 Subproductos de Caucho Natural

En Colombia, la utilización de productos secundarios del caucho no tiene un desarrollo industrial comparable con el alcanzado por algunos países asiáticos. La semilla se utiliza como productora de patrones para injertación, y la utilización de la madera de caucho se realiza a escala artesanal, ya que no se considera actualmente en el ámbito nacional como una madera comercial; adicionalmente, en el país no hay un volumen constante de madera de caucho, lo que imposibilita aún más su industrialización o comercialización [24].

En Colombia se desarrollan varias actividades asociadas al cultivo del caucho:

- *Cultivo de cobertura.* La asociación más común es caucho Kunzú tropical, el cual es recuperador de suelos y además un banco de proteína para la alimentación animal.
- *Arreglos agroforestales.* Es común intercalar la plantación de caucho con cultivos perennes, semiperennes y transitorios. En Colombia existe una amplia gama de arreglos agroforestales los más comunes son: caucho – cacao, caucho-maíz y caucho – papaya o café o piña.
- *Arreglos silvopastoriles.* Este sistema es común en la región de la Orinoquía. Es frecuente asociar ganado vacuno a la plantación de caucho, el cual es alimentado con vegetación de sotobosque.

2.2.4 Valorización de la Oferta Nacional

En Colombia no se obtiene caucho técnicamente especificado, y el producido no tiene una buena aceptación, básicamente por las siguientes razones [24]:

- No se mantiene un estándar de calidad a través del tiempo ni en todas las regiones productoras, en cuanto a características básicas como el color, cantidad de impurezas y/o contenido de humedad, en el caucho.
- Carencia de un proceso eficiente de secado.
- Heterogeneidad en el empaçado, al no presentar pesos ni medidas constantes.
- Heterogeneidad en los valores y niveles de plasticidad.

Al no producir caucho técnicamente especificado, el producto nacional no puede valorizarse teniendo en cuenta los parámetros estándar internacionales. Así mismo en la medida que el caucho nacional mejore estas características será más aceptado y competitivo.

2.2.5 Demanda del Caucho Natural

Básicamente, la demanda interna de caucho natural, sin discriminar entre nacional o importado, depende de dos factores: el crecimiento de la demanda de los productos elaborados a base de caucho y la capacidad de producción de éstos en el país.

El consumo nacional de caucho natural está representado por el volumen de las importaciones que para el año 2000 ascendieron a 26.436 Ton, con un 77,87% de TSR, 21,47% de látex de caucho natural, 0,16% de RSS y 0,48% de crepe.

Las materias primas de mayor demanda son látex y los cauchos técnicamente especificados, con una tasa de crecimiento promedio anual de 5.03% y de 20.37% respectivamente. La calidad más demandada es el TSR - 20.

3. PROCESO DE BENEFICIO DEL LÁTEX

A partir del proceso de beneficio del látex se puede obtener látex concentrado y diferentes tipos de caucho seco simultáneamente. Se podría optar por, una única línea de proceso, dependiendo de la disponibilidad (tipo y cantidad) de la materia prima, la infraestructura y los equipos, además del tipo de caucho que se desea obtener. Este proceso se muestra en la figura 4, donde en forma general se indican las etapas que lo constituyen.

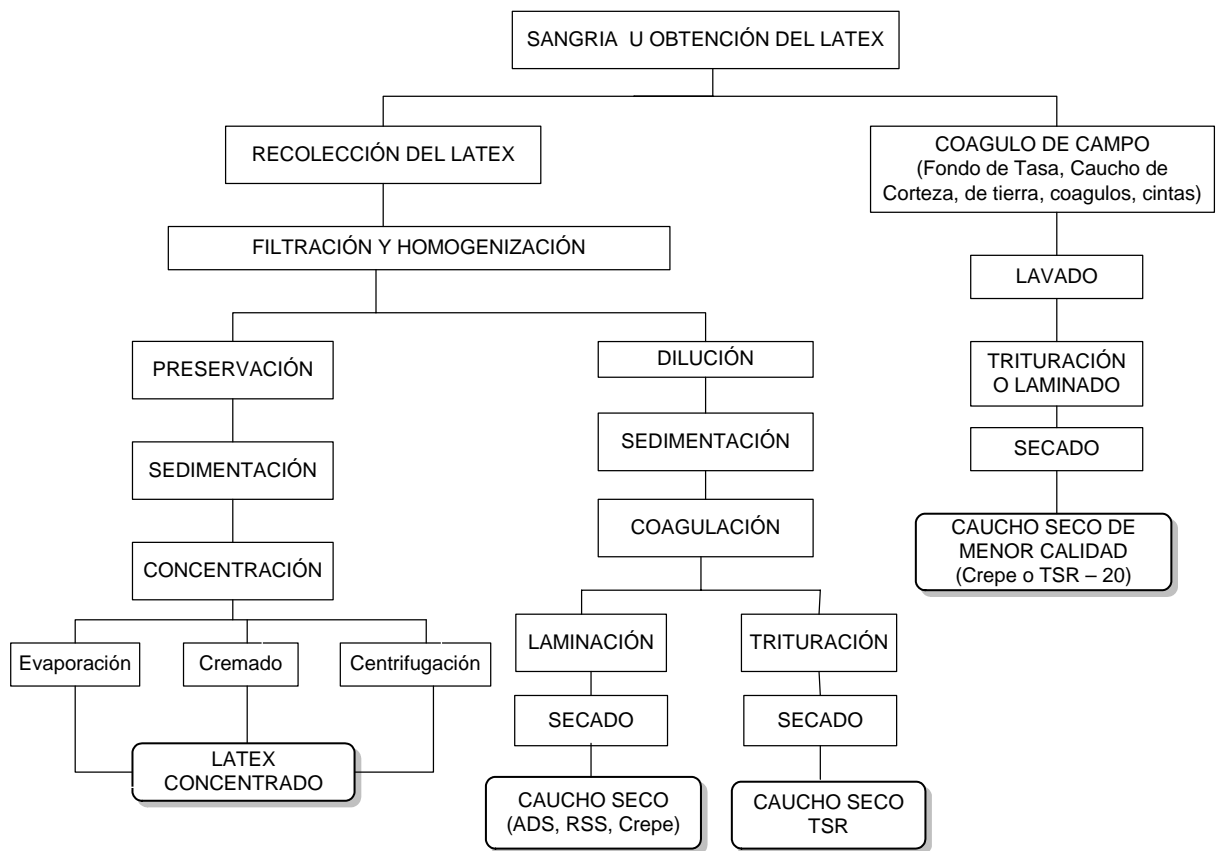


Figura 4. Diagrama de Bloques del Proceso de Beneficio del Látex.

Los procesos convencionales del beneficio del látex se describen en detalle en el Anexo F. Actualmente, el caucho técnicamente especificado no solo se produce a partir de la coagulación química del látex o los fondos de tasa, por el proceso Hevea Crumb y Dynat respectivamente [10], sino por medio de un proceso seco (Dry Process), el cual transforma las hojas de caucho producidas por los pequeños productores a TSR.

3.1 PROCESO SECO DEL CAUCHO TECNICAMENTE ESPECIFICADO [6]

La implementación del proceso húmedo tiene un impacto directo sobre el medio ambiente, las aguas residuales y el aire usado en el proceso deben ser tratados con sistemas costosos antes de que estos sean liberados al ambiente.

El sistema de procesamiento de caucho seco obtiene caucho técnicamente especificado a partir de láminas secas, material crepe, láminas ahumadas, láminas secadas al aire, caucho de natas y crepes. Dependiendo de la calidad de la materia prima y de los métodos de mezclado se producen los diferentes grados de caucho técnicamente especificado.

El proceso seco no utiliza agua, es por esto que solamente usa material que contenga un porcentaje menor o igual al 5% de humedad. Por lo tanto, inicialmente la materia prima sufre una inspección visual para clasificar los diferentes tipos de caucho seco que ingresan al proceso.

Ya que el caucho seco ingresa en forma de balas es necesario reducirlo de tamaño a pequeños bloques, por medio de una cortadora hidráulica, luego estos son mezclados y homogeneizados en un molino que opera a altas temperaturas, de donde salen migas calientes, las cuales son conducidas a un enfriador de túnel, donde se disminuye su temperatura con aire a temperatura ambiente.

Si se desea obtener un tipo de caucho técnicamente especificado especial, como el TSR – CV, es necesario adicionar un agente químico en la etapa de mezclado y homogenización, tal como el HNS.

Finalmente, las migas son pesadas, comprimidas en balas y empacadas en bolsas de plástico como se describe en el etapa de empacado del proceso húmedo del caucho seco. Para determinar el grado de caucho técnicamente especificado obtenido, se realizan las pruebas correspondientes para medir los parámetros establecidos según la norma. Sin embargo, se conoce que usando RSS-3 se obtiene un TSR-10 o 20 dependiendo del contenido de suciedad de las hojas, y de las hojas secadas al aire se puede llegar a obtener un caucho técnicamente especificado de mejor calidad, tal como el TSR- 5.

3.1.1 Ventajas del Proceso Seco

- Al no utilizar agua, este proceso no contamina el medio ambiente comparado con el proceso húmedo, en el cual, se deben tratar las aguas residuales y el aire sucio que sale.
- Debido a que la materia prima de este proceso es prácticamente seca, esta no libera olores a los alrededores, como en el caso de la materia prima del proceso húmedo (fondos de taza y cintillas).
- Bajos costos de inversión y menor tiempo del ciclo de producción en comparación con el convencional proceso húmedo (sin planta de tratamiento de agua).
- Bajos costos de procesamiento ya que solo involucran los costos eléctricos. No se generan costos de combustibles y tratamientos de aguas residuales.
- Las fábricas requieren menor espacio, poca mano de obra especializada, así como menor maquinaria para el procesamiento, haciendo más sencilla su operación y mantenimiento.
- Es posible producir grados especiales de mezclas de caucho, según los requerimientos del consumidor.

4. DISEÑO BÁSICO

Al analizar el Mercado del Caucho Natural y con base en la distribución nacional de las áreas productivas (tabla 6), se establecieron las capacidades de producción para las tres plantas procesadoras de látex de caucho natural, además se seleccionaron las líneas de proceso del látex que se pueden llevar a cabo en cada una de las plantas, teniendo cuenta las ventajas, desventajas y los factores tecnológicos de cada proceso, y de realizar un diseño innovador que mejore calidad actual.

Se establecen tres tipos de plantas, pequeña, mediana y grande, y para cada una de ellas se presentan las razones del por qué de su capacidad, localización y línea de proceso escogido y sus diagramas de flujo y balances de masa. Los balances de masa se realizan utilizando una hoja de cálculo de EXCELL.

La producción promedio nacional de caucho seco natural es de 1.180² toneladas anuales por hectárea, las cuales se obtienen del procesamiento de 3600 litros de látex por hectárea por año, mientras que los scraps corresponden al 15% de la producción total de caucho seco (aproximadamente 208,23 Kg/Ha.año).

La tabla 8 indica la composición del látex utilizada para realizar los diseños básicos. La composición de los productos de caucho seco obtenidos en cada uno de los diseños propuestos se establecen a partir de la tabla 1.

² Dato obtenido en conversación directa con el señor Laureano Gómez, funcionario del ICA.

Tabla 8. Composición del Látex.

CONSTITUYENTES	COMPOSICIÓN, %
Hidrocarburo de Caucho	32
Agua	60
Proteínas	3
Resinas	2
Azúcares	2
Cenizas	1

Establecido por las autoras a partir de los rangos de la tabla 1

4.1 PLANTA PEQUEÑA

En Colombia, la producción de caucho natural es desarrollada en su mayoría por pequeños productores en plantaciones que, por lo general, presentan bajas densidades de siembra. Es así, como se define una planta procesadora de 10 hectáreas, en la cual el proceso de beneficio del látex se lleva a cabo en la misma instalación en donde se encuentran los sembradíos (finca).

La propuesta de diseño se concreta en una serie de recomendaciones para mejorar el proceso tradicional realizado por los campesinos. Se reconocen los defectos del caucho seco actualmente producido para establecer los cuidados que se deben tener en el beneficiadero, y se identifican las etapas críticas del proceso para proponer la utilización de nuevos equipos.

Este diseño es útil en fincas con 1 – 20 hectáreas de árboles de caucho (bajas producciones de látex), requiere de poca tecnología y permite ser localizado en cualquier zona del país apta para el cultivo del caucho (Anexo G).

4.1.1 Panorama Actual

En Colombia la mayoría de los productores no cuenta con infraestructura desarrollada y realizan el beneficio del caucho en espacios muy sencillos y pequeños, mediante la aplicación de métodos artesanales.

El beneficio se desarrolla bajo cobertizos con techo de zinc que en su mayoría se componen de dos estancias o cuartos, uno donde se encuentra la alberca, el espacio destinado para la coagulación y la laminadora y la segunda estancia, donde se ubica el área de secado. Se obtienen hojas de caucho secadas al aire y ripio.

Este caucho no tiene buena aceptación; la calidad ofrecida no responde a los requerimientos de las grandes industrias (calidad constante, buen secado y empacado), en especial del sector llanero. Las deficiencias del caucho colombiano, se pueden explicar por varios motivos [24]:

- Prácticas inadecuadas de sangría (Anexo H).
- Deficiencia en el procesamiento, básicamente dadas por malas técnicas y falta de cuidados mínimos como aseo.
- Dentro del beneficiadero, el espacio donde se almacena el caucho seco y empacado presenta un alto contenido de humedad relativa, lo que favorece la formación de hongos que deterioran la calidad del producto.
- Hay grandes deficiencias en el proceso de secado y empacado, por falta de tecnología de secado y de constancia en las características y rigurosidad en el empacado.

En cambio, el ripio es vendido y bien recibido sin ninguna exigencia de calidad por pequeños industriales.

4.1.2 Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso Artesanal

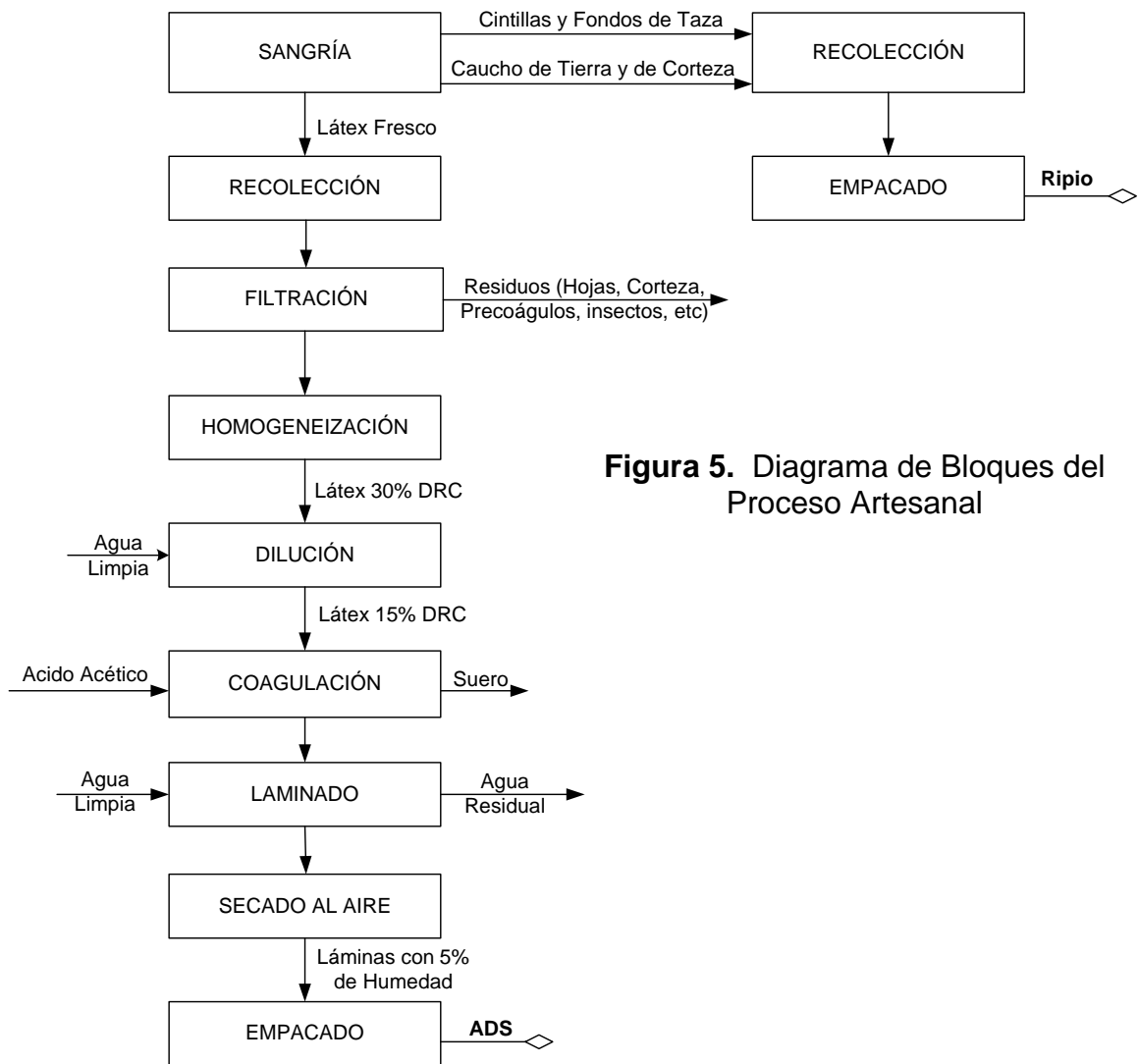


Figura 5. Diagrama de Bloques del Proceso Artesanal

Se producen láminas secadas al aire con el proceso húmedo de caucho seco y teniendo en cuenta la tabla 9, se presentan algunas recomendaciones y parámetros de trabajo para mejorar este proceso. Cabe destacar que en el proceso de beneficio, es donde se deben aplicar los mayores cuidados de higiene y las técnicas más apropiadas de producción.

Tabla 9. Causas y Soluciones de los Defectos Usuales que se Presentan en las Laminas de Caucho.

DEFECTOS	CAUSAS	SOLUCIONES
Materia extraña grande y/o fina	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiencia en la filtración y descuido después del mismo. - El tamaño de los orificios de la malla utilizada no es el adecuado. - Presencia de impurezas en el coagulado y laminado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Filtrar el látex recolectado antes de iniciar el proceso. - Tapar en su mayoría los recipientes (tanques, canoas de coagulación) donde se deposita el látex, y asearlos al finalizar su uso.
Burbujas pequeñas y/o grandes	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente ácido - Falta de mezclado ácido-látex. - Fermentación del látex durante la coagulación. - Exceso de calor en el secado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usar la cantidad apropiada de ácido en la coagulación. - Agitar al agregar el ácido al látex. - Mantener las canoas de coagulación limpias y esterilizarlas de vez en cuando con límpido. - Establecer y mantener la temperatura apropiada.
Manchas de color	<ul style="list-style-type: none"> - Oxidación del suero (materia orgánica) que no se remueve de la lámina en el lavado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usar laminadores provistos con chorros de agua. - Lavar las láminas por separado antes de su secado. - No amontonar las láminas mojadas. - Escurrir las láminas antes del secado. - Cubrir los coágulos con agua limpia cuando estén firmes para excluir el aire.

Superficie grasosa	<ul style="list-style-type: none"> - Poca agua durante la laminación. - Uso de humo denso y resino (para las RSS). 	<ul style="list-style-type: none"> - Usar suficiente agua limpia. - Usar leña que de humo azulado y fuego moderado (para las RSS).
Muecas superficiales	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de espuma en el coagulo. - Fermentación del látex en la coagulación. - Poca agua en la laminación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usar la cantidad de acido apropiado. - Si se presenta formación de espuma luego de agregar el ácido, retirarla. - Desinfectar las canoas de coagulación. - Coagular látex fresco. - Usar suficiente agua limpia en la laminación.
Moho	<ul style="list-style-type: none"> - Láminas con suero. - Secamiento lento con poco o ningún humo (para las RSS). - Láminas secas guardadas en lugares húmedos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lavar bien durante la laminación. - Secar a fuego lento, a la temperatura a apropiada y con suficiente humo. - Guardar las láminas en lugares secos.
Caucho Pegajoso	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de calor durante el secado. - Exceso de laminación con poco agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Secar a la temperatura de secado apropiada.
Manchas de aceite o grasa	<ul style="list-style-type: none"> - Lámina que entro en contacto con aceite o grasa en el laminador. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener limpio el laminador.

Tabla realizada por las autoras con la información del libro: Manual Técnico del Cultivo del Caucho para la Zona Marginal Baja Cafetera de Caldas.

En 10 hectáreas se tienen 4.000 árboles de caucho, de los cuales se recogen 98,63 litros de látex por día, y se obtienen mensualmente 983,33 Kg de caucho seco y 173,53 Kg de ripio, con el proceso descrito la tabla 10.

Las cantidades de agua y de ácido acético indicadas en la tabla 10, son los volúmenes adecuados para llevar a cabo el proceso de beneficio sin corresponder a las cantidades exactas determinadas en el balance de masa. Esto se hace previendo las dificultades que le genera a los campesinos medir exactamente las cantidades reportadas en el balance de masa.

El caucho seco obtenido son hojas secadas al aire, con 89,94% de hidrocarburo caucho, 5% de humedad, 2,39% de proteínas, 2,39% de resinas y 0.29% de cenizas. Esta composición se obtuvo a partir de la normalización de tabla 2 conociendo que el contenido de humedad de las hojas secadas al aire en Colombia es del 5% [14].

Tabla 10. Recomendaciones para mejorar el Proceso Tradicional.

ETAPA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN Y CUIDADOS
Sangría o Pica	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza día por medio, conservando el trazado inicial (longitud, dirección, inclinación) y se suspende en periodo lluviosos. - Para sacar el máximo de látex se hace una incisión hasta 1–1,5 mm. del cambium evitando llegar hasta la madera, pues se forman cicatrices que estorban las sangrías posteriores. - Se deben recoger en una bolsa, el caucho de la pica anterior coagulado en la incisión y canaleta. - Las cuchillas utilizadas deben tener buen filo para facilitar su utilización, evitar daños y consumos excesivos de corteza. - Todos los elementos para equipar el árbol deben estar limpios, y colocados correctamente. - Informar sobre cualquier enfermedad o daño en los paneles.

Recolección	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe efectuar en el mismo sentido que el sangrado, y se requieren de 13 baldes plásticos de 10 litros. - Los baldes deben estar limpios, secos y tapados para evitar pérdidas por derrames y que caiga suciedades al látex. - Recolectar por separado el látex y los scraps. - Los fondos taza y cintillas se deben recoger todos los días. - El caucho de tierra se debe recoger antes de los periodos secos para evitar incendios.
Filtración	<p><u>Equipo:</u> Se recomienda construir un colador, de malla plástica cuadrada de 20 cm con orificios, sujeta a un marco de madera de 10 cm de alto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - El colador se coloca sobre las canoas de coagulación para filtrar el látex cuando se transvase de los baldes a estas, teniendo cuidado de no derramarlo. - Se debe lavar el colador una vez se utilice, para evitar el taponamiento de los orificios.
Dilución	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza en las canoas de coagulación, en donde se le adiciona a cada litro de látex un litro de agua limpia. - Se requiere una medida exacta del agua y del látex.
Coagulación	<p><u>Equipo:</u> canoas de madera impermeabilizadas con baños de pintura o parafina, de 1,5 m largo x 0,2 m ancho y 0,2 m alto. Se recomienda calibrar por litros el volumen de cada canoa, indicando con marcas visibles cada litro.</p> <p><u>Accesorios:</u> una paleta sencilla de aluminio perforada con agujeros de 1 in de diámetro, con mango de madera y una lámina de aluminio de 16x20 cm con 16 agujeros de 2 cm de diámetro separados entre sí 4 cm centro a centro y 1 cm de los laterales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se requieren 5 canoas de coagulación. - En cada canoa se colocan 20 litros de látex, 20 litros de agua, y se le adicionan 30 ml de ácido acético. - A medida que se adiciona el ácido, la paleta se arrastra sobre el

	<p>líquido para mezclar bien.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se presenta formación de espuma retirarla con la paleta. - Se deben cubrir las canoas, puede ser con cartones limpios, durante todo el tiempo de la coagulación. - Después de 2 horas (cuando el coágulo está gelatinoso) se cubre la superficie del coágulo con agua limpia, teniendo cuidado de no dejar caer sobre el coágulo un chorro de agua con fuerza. - La coagulación culmina al cabo de 12 o 16 horas. - Se obtienen 5 coágulos diarios de 5 cm de espesor y 60% de humedad. - Lavar las canoas después de utilizarlas
Laminación	<ul style="list-style-type: none"> - Comprar una laminadora manual (Anexo J) y acondicionarle un sistema de rociado de agua que permita el lavado de la lámina. - A la mañana siguiente de la coagulación, los coágulos son sacados de las canoas con mucho cuidado para que no se rompan. - Pasar cada uno de los coágulos de 5 a 7 veces por la laminadora para obtener láminas de 2 a 3 mm de espesor. - Se obtienen 5 láminas diarias con un 30% de humedad. - Entre las pasadas las láminas se mantienen bajo agua en tanques. - Limpiar la laminadora después de utilizarla.
Secado	<ul style="list-style-type: none"> - Los scraps se dejan al aire para que se sequen. - Las láminas se sacan de los tanques con agua y se cuelgan en palos de bambú bajo sombra, para que escurran durante 2 horas. - Se pasan a un secador solar (Anexo I), el cual se considera una nueva alternativa ecológica, económica y que puede llegar a mejorar las características del proceso tradicional de secado al aire, para emular los buenos resultados obtenidos en el secado de alimentos. - El secado del caucho natural requiere que la energía solar no sea directa, porque esta deteriora sus propiedades; se utiliza un

	<p>secador solar de tipo indirecto, en donde la radiación sea recogida por un dispositivo captador. Hasta el momento han sido fabricados en aluminio, material fácilmente reciclable, y pintados exteriormente de color negro para favorecer el calentamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Básicamente, el equipo consta de una cámara de secado y un captador o colector que consiste en una caja poco profunda con interiores pintados de negro y un panel de vidrio en la parte superior. El aire calentado en el captador asciende a través de la cámara (que consta de una chimenea) atravesando una capa de piedras (cantos rodados) que actúa como reguladora de temperatura, adsorbiendo calor en periodos de máxima insolación y desprendiéndolo en periodos de mínima, homogeneizando de esta forma el secado y mejorando las condiciones del mismo [13].
<p style="text-align: center;">Empacado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Lo ideal es tener una báscula, para pesar las láminas y conformar los 113 Kg de cada bala. Aproximadamente 113 Kg corresponde a 17 hojas. - Para lograr un empaque uniforme, se recomienda usar un marco de madera de 50x30x50 cm, donde se colocan las láminas teniendo cuidado de rellenar bien las esquinas y de presionar cada lámina. - Se aconseja espolvorear talco en las paredes del marco para evitar que las láminas se peguen. - Las balas de caucho se empacan en bolsas de polietileno, para que estén libres de la acción del agua, sol y polvo que deteriora su calidad. - Los scraps recolectados se empacan en costales de fique o polietileno de 15, 20 y 50 kilos para ser comercializados como ripio,
<p style="text-align: center;">Almacenamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Las balas de caucho deben ser almacenadas en un lugar seco y sombreado (temperatura entre 15 – 30°C), en ausencia de agua que favorezca el enmohecimiento.

Figura 6. Diagrama de Flujo del Proceso Artesanal.

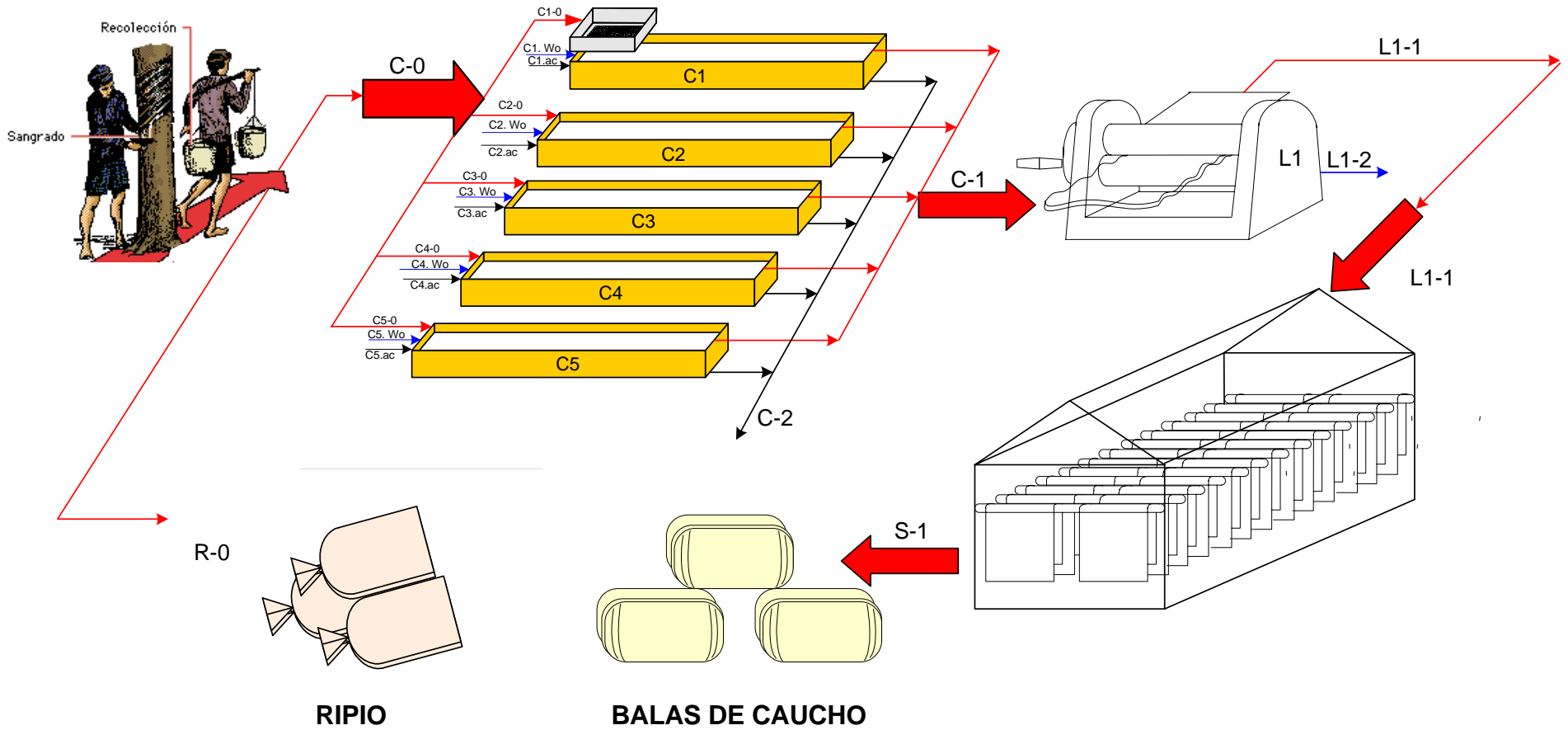


Tabla 11. Balance de Masa del Proceso Artesanal.

Nombre de la corriente	Flujo másico total (Kg/día)	Composición		Denominación
		Componente	% peso	
R-0	5,78	Scraps	100,00	Ripio
C-0	98,07	agua	60,00	Látex Natural
		Hidrocarburo caucho	32,00	
		Proteínas	3,00	
		Resinas	2,00	
		Azúcares	2,00	
		Cenizas	1,00	
C1-0	19,61	La composición es igual a la de la corriente C-0		Látex Natural
C2-0	19,61			
C3-0	19,61			
C4-0	19,61			
C5-0	19,61			
C1.Wo	22,23	agua	100,00	-
C2.Wo	22,23			
C3.Wo	22,23			
C4.Wo	22,23			
C5.Wo	22,23			
C1.ac	0,033	ácido acético	99,00	-
C2.ac	0,033			
C3.ac	0,033			
C4.ac	0,033			
C5.ac	0,033			
C-1	79,70	Humedad	60,00	Coágulos de caucho
		Hidrocarburo caucho	36,99	
		Proteínas	1,40	
		Resinas	1,04	
		Azúcares	0,37	
		Cenizas	0,20	
C-2	129,67	agua	94,21	Suero que queda de la coagulación
		Hidrocarburo caucho	1,47	
		Proteínas	1,41	
		Resinas	0,87	
		Azúcares	1,29	
		Cenizas	0,63	
		ácido acético	0,13	
L1-1	44,48	Humedad	30,00	Láminas de caucho
		Hidrocarburo caucho	66,27	

		Proteínas	1,76	
		resinas	1,76	
		azúcares	0,00	
		cenizas	0,21	
L1-2	35,22	agua	97,89	Suero retirado de los coágulos de caucho al convertirlo láminas
		hidrocarburo caucho	0,00	
		proteínas	0,95	
		resinas	0,13	
		azúcares	0,84	
		cenizas	0,19	
S-1	32,78	humedad	5,00	Hojas de caucho secas
		hidrocarburo caucho	89,94	
		proteínas	2,39	
		resinas	2,39	
		cenizas	0,29	
R-1	5,78	Scraps	100,0	Ripio seco y empacado

4.2 PLANTA MEDIANA

Hoy en día los pequeños productores han buscado la forma de agruparse y consolidar asociaciones que sirvan de herramientas facilitadoras de procesos de capacitación, asistencia técnica, mejora en la producción, comercialización, entre otras. A nivel local existen actualmente PROCAUCHO (Promotora de Caucho del Magdalena Medio S.A.), que junto con otras asociaciones de caucheros conforman la Federación Nacional de Cultivadores de Caucho, FEDECAUCHO, la cual tiene como misión el fortalecimiento del gremio cauchero.

Actualmente PROCAUCHO es una central de beneficio que agrupa a los agricultores de caucho independientes de la zona, donde se realiza el proceso de laminado y secado al aire y se comercializa el caucho (ADS, y ripio). Este diseño fue pensado como una propuesta para diversificar su actual producción, en busca de ampliar su mercado y suplir la demanda departamental.

Se propone el diseño básico para una planta piloto que produzca en promedio media tonelada por día de caucho Hevea Crumb. Para esto se extrae el látex de 150 hectáreas de árboles de caucho.

4.2.1 Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso Hevea Crumb.

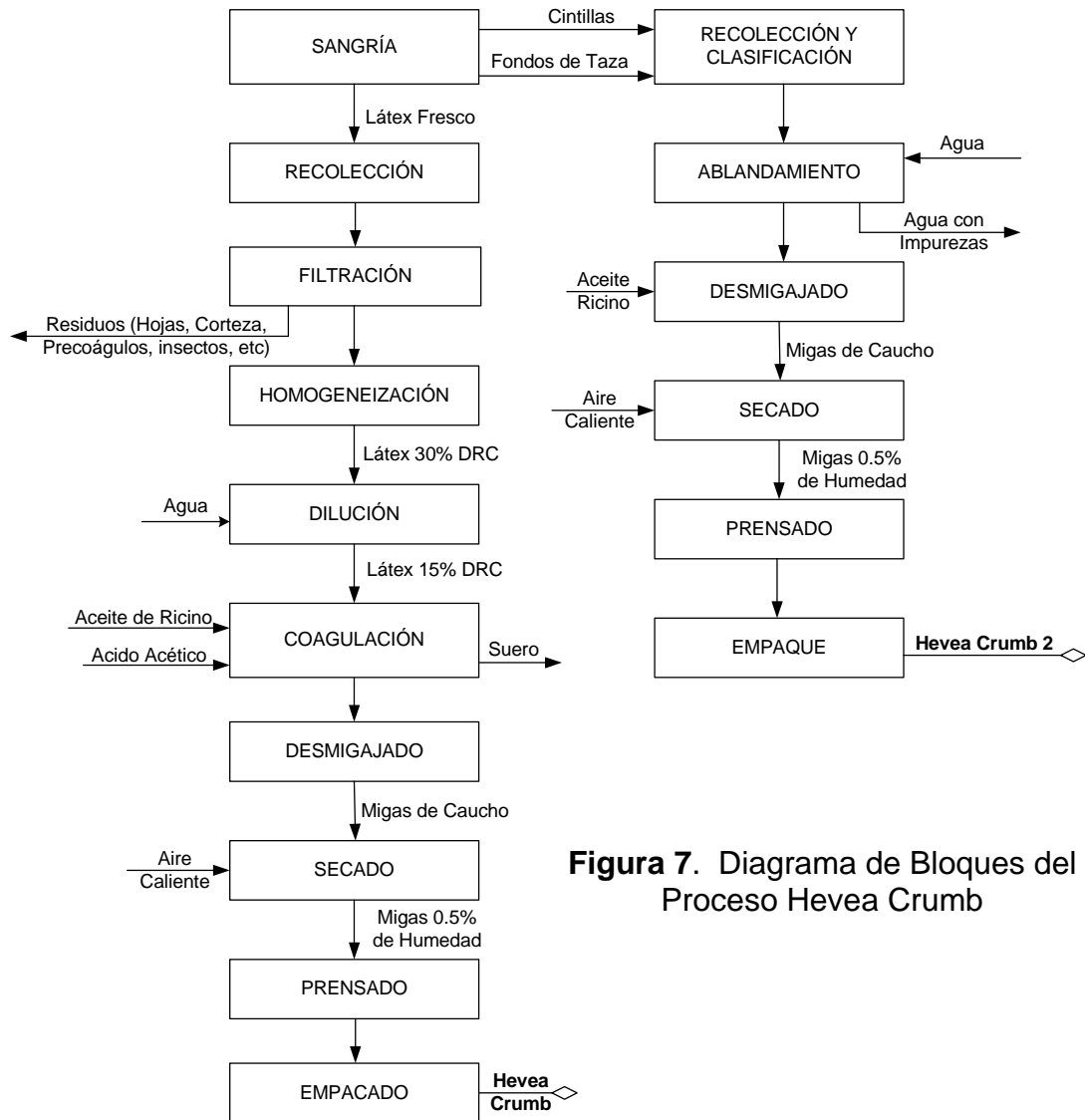


Figura 7. Diagrama de Bloques del Proceso Hevea Crumb

El látex recolectado se filtra, se homogeniza, se diluye y se acidifica con ácido acético en los tanques de homogenización y luego se pasa a los tanques de coagulación. La dilución se efectúa hasta un 25% de DRC, puesto que no se

requiere de un coágulo medianamente blando [15], ya que posteriormente este será desmigajado, en una batería de crepadoras. Las migas obtenidas pasan por un secador tipo túnel de canasta en donde alcanzan una temperatura de 120°C, para finalmente ser empacadas (Anexo K).

A partir de la descripción del proceso Hevea Crumb, se aprecia que el equipo usado es suficientemente sencillo como para introducirlo en beneficiaderos ya establecidos y su mantenimiento no es complicado [5], además, estos cauchos presentan menos impurezas que las láminas tradicionales y su viscosidad es más baja y uniforme.

Adicionalmente, utilizando los scraps (fondos de taza y cintillas) se obtiene caucho seco en forma de migas (Hevea Crumb 2), luego de ablandar los scraps en agua y adicionarles aceite de ricino para continuar con el proceso del caucho Hevea Crumb desde la etapa de desmigajado hasta culminar con el empacado. Este caucho puede ser clasificado como TSR 20.

Se obtienen mensualmente 14,75 Ton. caucho Hevea Crumb y 1,39 Ton. caucho Hevea Crumb 2, la composición de estos se registra en la tabla 12; para el Hevea Crumb esta se establece como el promedio del caucho natural típico y a partir de esta se define la composición del Hevea Crumb 2 teniendo en cuenta que los scraps presentan un mayor contenido de impurezas.

Tabla 12. Composición del caucho Hevea Crumb

Constituyentes	Hevea Crumb	Hevea Crumb 2
Humedad (%)	0,5	0,5
Extracto Acetónico (%)	2,5	2,7
Proteínas (%)	2,5	2,7
Cenizas (%)	0,3	0,5
Hidrocarburo de Caucho (%)	94,2	93,6

Establecido por las autoras

Figura 8. Diagrama de Flujo del Proceso Hevea Crumb

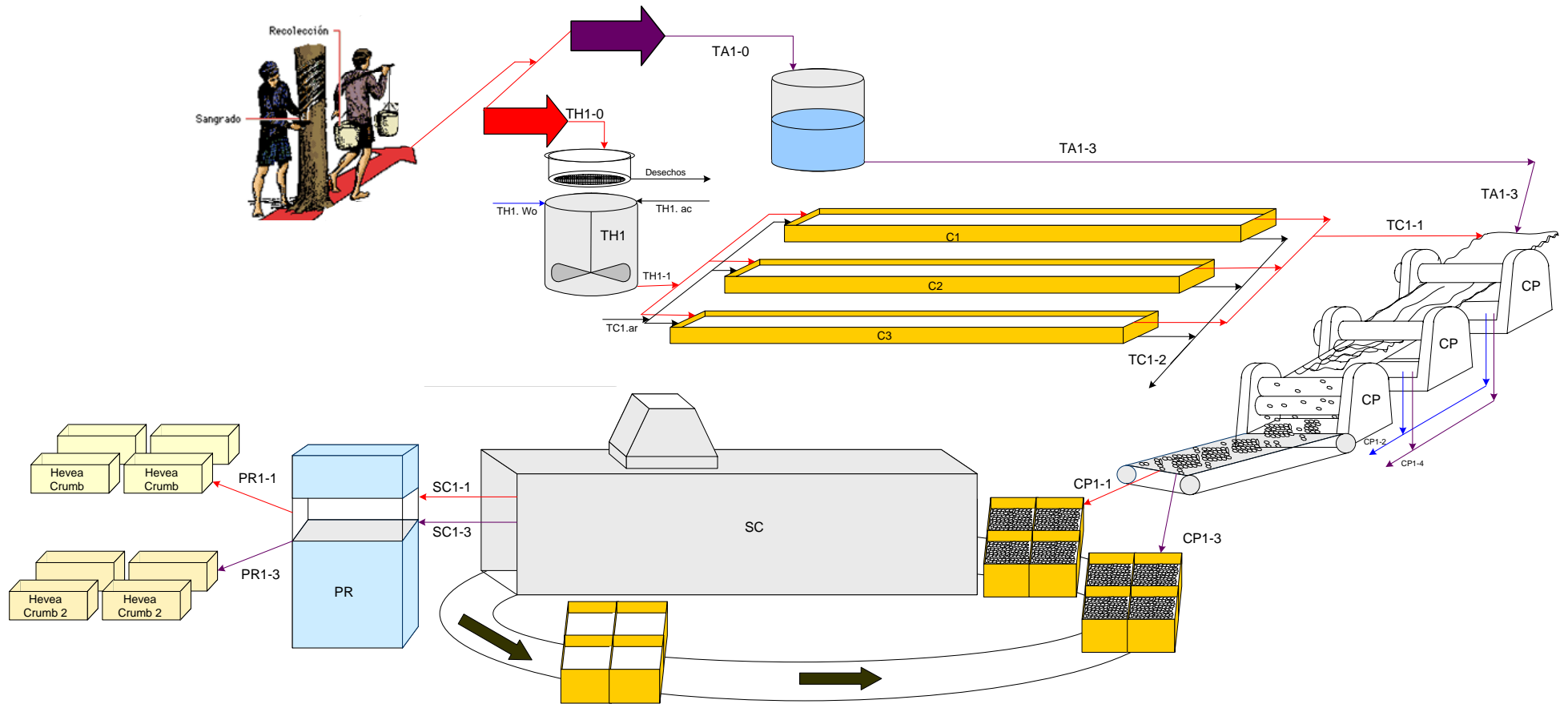


Tabla 13. Balance de Masa del Proceso Hevea Crumb.

Nombre de la corriente	Flujo másico total (Kg/día)	Composición		Denominación
		Componente	% peso	
TH1-0	1471,00	agua	60,00	Látex Natural
		hidrocarburo caucho	32,00	
		proteínas	3,00	
		resinas	2,00	
		azúcares	2,00	
		cenizas	1,00	
TH1.Wo	411,88	agua	100,00	-
TH1.ac	1,12	ácido acético	99,00	-
TH1-1	1884,00	agua	68,71	Látex diluido y acidificado
		hidrocarburo caucho	24,99	
		proteínas	2,34	
		resinas	1,56	
		azúcares	1,56	
		cenizas	0,78	
		ácido acético	0,06	
TC1.ar	3,44	aceite de ricino	100,00	-
TC1-1	995,73	humedad	49,65	Coágulos de caucho
		hidrocarburo caucho	46,51	
		proteínas	1,99	
		resinas	1,33	
		azúcares	0,30	
		cenizas	0,22	
TC1-2	888,27	agua	90,08	Suero que queda de la coagulación
		hidrocarburo caucho	0,85	
		proteínas	2,73	
		resinas	1,82	
		azúcares	2,98	
		cenizas	1,41	
		ácido acético	0,13	
CP1-1	531,75	humedad	10,00	Migas de caucho
		hidrocarburo caucho	85,21	
		proteínas	2,26	
		resinas	2,26	
		azúcares	0,00	
		cenizas	0,27	
CP1-2	467,42	agua	96,66	Suero retirado de los coágulos de caucho al
		hidrocarburo caucho	0,00	
		proteínas	1,62	

		resinas	0,20	convertirlo migas
		azucares	0,63	
		cenizas	0,16	
		aceite de ricino	0,74	
SC1-1	491,66	humedad	0,50	Caucho Hevea Crumb
		hidrocarburo caucho	94,20	
		proteínas	2,50	
		resinas	2,50	
		cenizas	0,30	
PR1-1	491,66	humedad	0,50	Balas de Caucho Hevea Crumb
		hidrocarburo caucho	94,20	
		proteínas	2,50	
		resinas	2,50	
		cenizas	0,30	
TA1-0	46,27	fondos de tasa y cintillas	100,00	Scraps
TA1-3	66,43	humedad	30,07	Scraps húmedos
		hidrocarburo caucho	65,20	
		proteínas	2,35	
		resinas	1,94	
		cenizas	0,43	
CP1.ar	0,32	aceite de ricino	100,00	-
CP1-3	51,16	humedad	10,00	Migas de caucho
		hidrocarburo caucho	84,67	
		proteínas	2,44	
		resinas	2,44	
		cenizas	0,45	
CP1-4	15,60	agua	95,30	Suero retirado de los scraps al desmigajarlo
		hidrocarburo caucho	0,00	
		proteínas	2,00	
		resinas	0,25	
		cenizas	0,37	
		aceite de ricino	2,08	
SC1-3	46,28	agua	0,50	Caucho Hevea Crumb 2
		hidrocarburo caucho	93,60	
		proteínas	2,70	
		resinas	2,70	
		cenizas	0,50	
PR1-3	46,28	agua	0,50	Balas de Caucho Hevea Crumb 2
		hidrocarburo caucho	93,60	
		proteínas	2,70	
		resinas	2,70	
		cenizas	0,50	

4.3 PLANTA GRANDE

En el país se demanda caucho en las presentaciones de látex y TSR, además de las actualmente producidas, por esto se requiere la adopción de tecnologías representadas en equipos e infraestructura, pero sobre todo en la mejora de los procesos de recolección y beneficio.

Actualmente, la mayoría del área plantada con caucho se encuentra agrupada por zonas y en departamentos específicos, pero al interior de éstos las pequeñas plantaciones están dispersas, lo que ha retrasado la creación de centrales de beneficio industrializadas que permitan dar mayor calidad, y por ende, competitividad al caucho nacional.

El objetivo de este diseño es presentar dos alternativas de producción de caucho natural, una para obtener látex concentrado, y otra que transforme las hojas de caucho seco producidas por los pequeños productores en caucho técnicamente especificado.

Para establecer la capacidad de producción se tiene en cuenta la demanda nacional de caucho natural, sin embargo, esta es muy alta para ser cubierta por las plantaciones actualmente productivas en el país. Por tanto, se estableció un área de 2.000 Ha. para realizar los dos diseños básicos, con la que aproximadamente se abastecerá el 50% de la demanda de látex de caucho natural y el 10% de la demanda de TSR a nivel nacional. Esto constituye una base para el desarrollo tecnológico de este sector agroindustrial que se encuentra actualmente en crecimiento.

Al revisar la distribución nacional de áreas sembradas y en producción, se observa que el departamento del Caquetá es la mayor región productora de

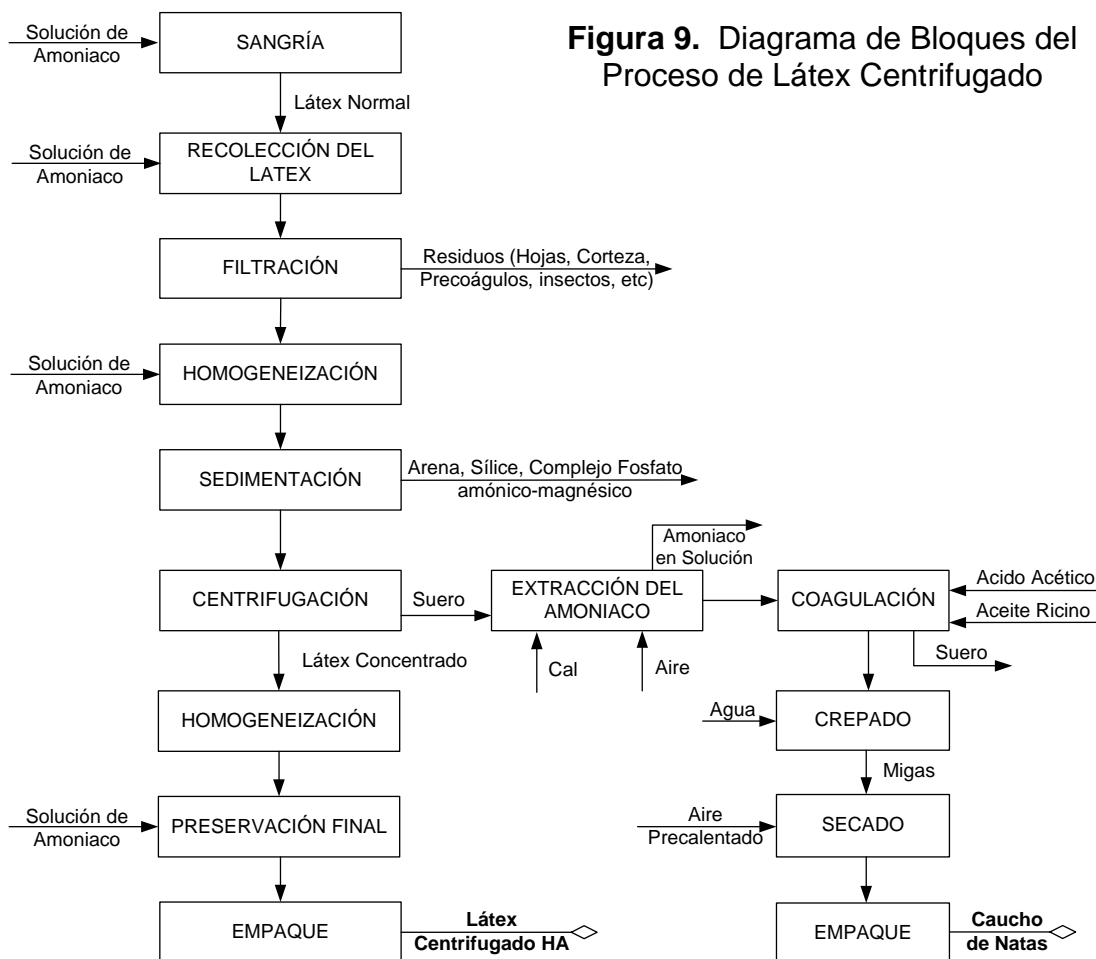
caucho, por lo que se establece como la zona más apta para localizar cualquiera de estas dos alternativas.

La implementación del proceso seco para la obtención de TSR, mejoraría la calidad del actual caucho nacional sin que ocurran cambios en el proceso de beneficio tradicional realizado por los pequeños productores, además, se crearía un centro de beneficio que utilizaría la producción de las diferentes zonas de la región aunque estas se encuentren dispersas, ya que su materia prima se encuentra en un estado estable que garantiza su preservación en largos periodos de tiempo.

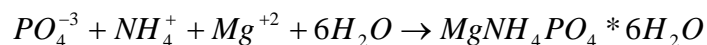
Sin embargo, la creación de una planta de látex concentrado en el país, implica la utilización del amoniaco como agente estabilizante desde las plantaciones de caucho natural, para garantizar que el látex llegue al centro de beneficio en condiciones óptimas para su procesamiento.

La concentración del látex se realiza por centrifugación hasta un 60% de DRC, ya que este método tiene como ventaja su corto tiempo de operación y se obtiene látex de características superiores en cuanto a menor cantidad de constituyentes no caucho, en comparación con los otros métodos de concentración [2].

4.3.1 Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso de Látex Centrifugado



El látex normal recibido se filtra mientras se vierte a los tanques de homogeneización, de donde se toma una muestra del látex para caracterizarlo (porcentaje de DRC y contenido de amoníaco) y determinar si es apto para ser centrifugado. Luego, al látex homogenizado se le adiciona amoníaco en solución al 25%³ para garantizar su preservación durante el proceso y se pasa a los tanques de sedimentación donde permanece en reposo, dando lugar a la reacción de formación del complejo fosfato amónico-magnésico ($MgNH_4PO_4$):



³ Se establece que es mejor utilizar soluciones de amoníaco al 25% desde la sangría hasta finalizar el proceso de látex concentrado, ya que este es el comercial, y presenta menos porcentaje de agua con respecto a las soluciones del 5% que recomienda la literatura.

Después de que el látex permanece en reposo por 24 horas, se le realiza la prueba de ácido grasos volátiles para garantizar su estabilidad mecánica y poder ser centrifugado. El látex se pasa a las centrifugas y los lodos depositados en los tanques de sedimentación se retiran por el fondo, estos lodos son ricos en materia inorgánica que se utiliza para el fortalecimiento de los suelos (Anexo L).

Al cabo de tres horas de operación de las centrifugas, se requiere limpiarlas para eliminar los residuos de caucho que quedan en el equipo. El látex concentrado se lleva a tanques de homogenización, donde se mide su contenido de hidrocarburo caucho y se le adiciona amoníaco para preservar y obtener látex centrifugado con alto amonio (HA) con la siguiente composición:

Tabla 14. Composición del Látex Centrifugado con Alto Amonio.

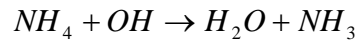
CONSTITUYENTES	COMPOSICIÓN, %
Hidrocarburo de Caucho	60
Agua	38,06
Sólidos no Caucho	1,24
Amoníaco	0,6

Establecido por las autoras a partir del Anexo C

El suero obtenido de la centrifugación contiene aproximadamente un 8% de DRC, la mayoría de los constituyentes no caucho y el amoníaco, todos estos disueltos en el agua (constituyente en mayor proporción). Este puede ser coagulado para obtener caucho desnatado del tipo crepe o desmigajado, o puede recolectado junto con las aguas residuales del proceso.

Sin embargo, para cualquiera de las dos opciones de tratamiento del suero se requiere realizar previamente la extracción del amoníaco, para recuperarlo y evitar sus continuas emisiones al ambiente.

La extracción del amoníaco por arrastre con aire es un proceso de desorción que se utiliza para reducir el contenido de amoníaco en una corriente de agua [12]. El amoníaco presente en el suero se encuentra disuelto en el agua en iones hidróxido de amonio. Para su extracción se añade cal viva hasta cuando el suero alcance un pH de 10,8 a 11,5, lográndose la conversión de los iones a amoníaco gaseoso según la reacción:



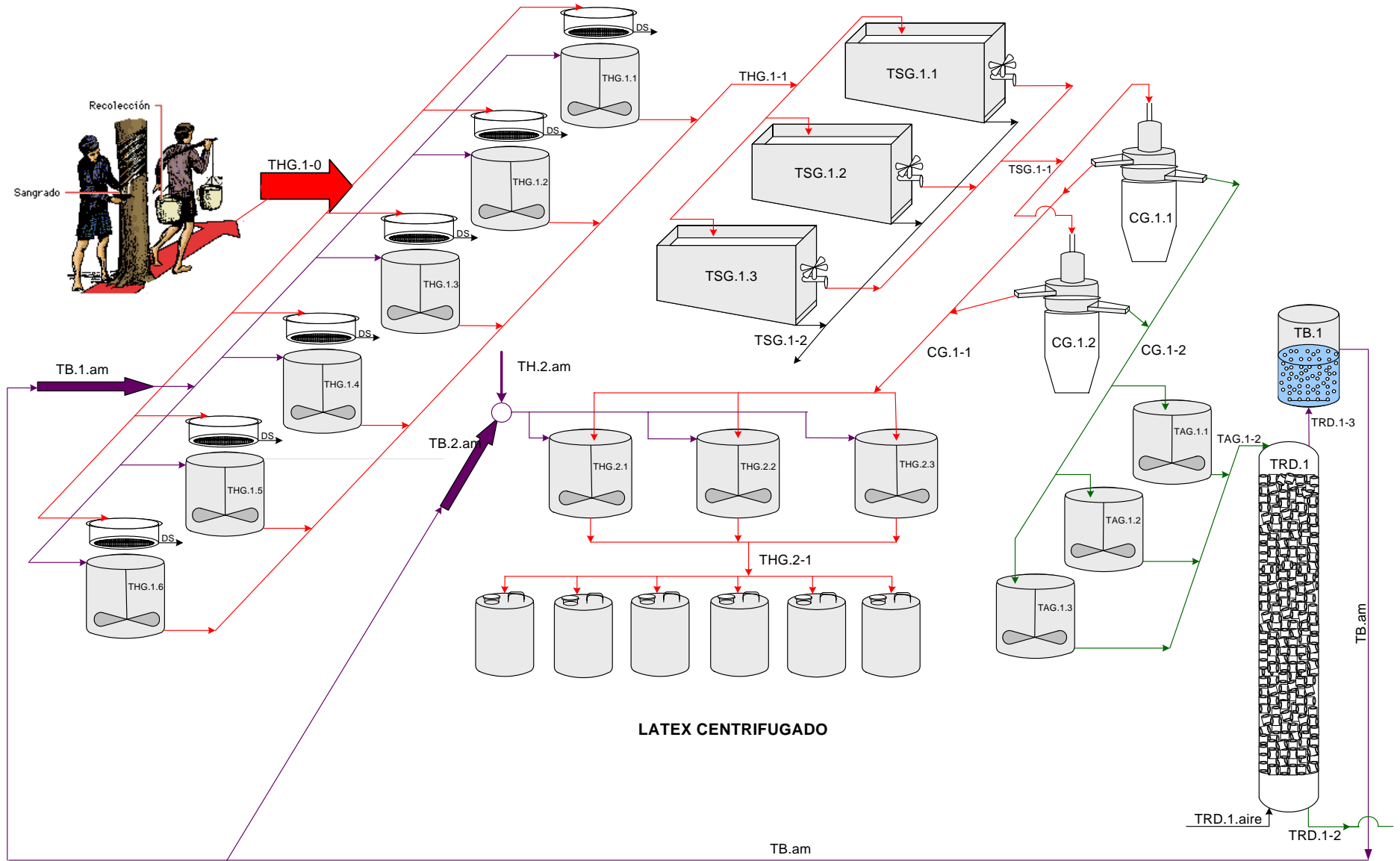
El suero es bombeado a la parte superior de una torre empacada de flujo a contracorriente para ser distribuido a través del material de empaque, mientras que el aire entra a través de orificios ubicados en el fondo de la torre. A medida que las pequeñas gotas de suero van cayendo, el amoníaco libre es arrastrado de este a la corriente de aire y recuperado en un tanque de burbujeo (Anexo I), para obtenerlo nuevamente en solución y reintegrarlo al proceso. Por el fondo de la torre sale el suero el cual debe contener como máximo un 0,2% de amoníaco.

Después de la extracción el suero se coagula con ácido acético y se procesa en forma del caucho Hevea Crumb, para producir caucho de natas⁴, con 80% de hidrocarburo caucho, 15% de sólidos no caucho y 5% de humedad [15].

Con las 2.000 hectáreas de caucho todas destinadas para planta de látex concentrado, se obtiene mensualmente 266,74 toneladas de látex centrifugado de alto amonio y 33,88 toneladas de caucho crepe de natas.

⁴ Este tipo de caucho natural contiene una mayor proporción de constituyentes no caucho que el caucho ordinario. Se caracteriza por su rapidez a la vulcanización y se usa para la elaboración de mezclas resistentes de caucho, como los materiales para pisos y los destinados a servir de apoyo.

Figura 10. Diagrama de Flujo del Proceso de Látex Centrifugado.



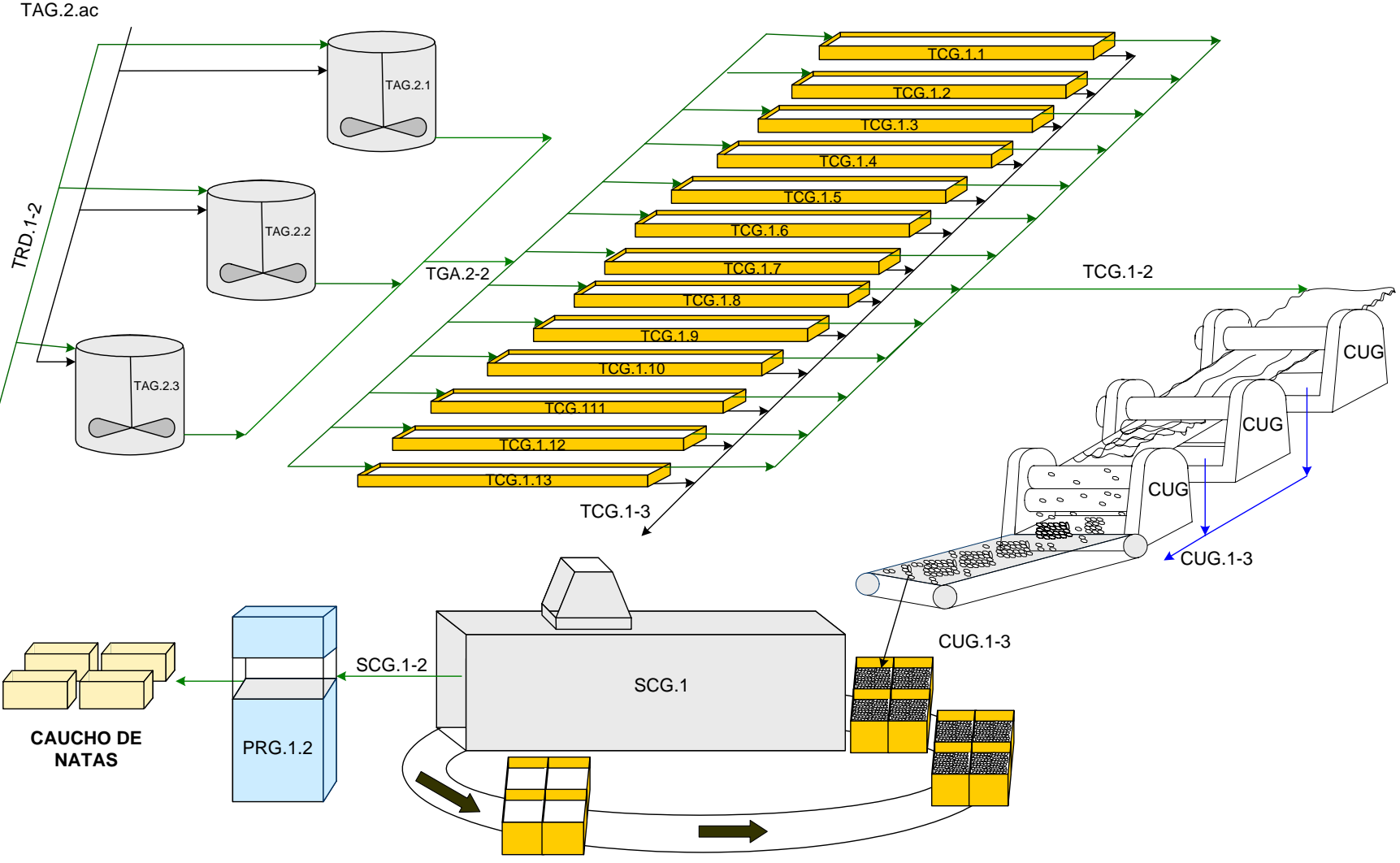


Tabla 15. Balance de Masa del Proceso de Látex Centrifugado

Nombre de la corriente	Flujo másico total (Kg/día)	Composición		Denominación
		Componente	% peso	
THG.1-0	19.730,41	agua	60,09	Látex Normal
		hidrocarburo caucho	31,81	
		Proteínas	2,98	
		Resinas	1,99	
		Azúcares	1,99	
		Cenizas	0,99	
		amoníaco (NH ₃)	0,15	
TB.1.am	166,87	amoníaco (NH ₃)	25,00	-
		agua	75,00	-
THG.1-1	19.897,28	agua	60,21	Látex Normal Homogenizado
		hidrocarburo caucho	31,54	
		Proteínas	2,96	
		Resinas	1,97	
		Azúcares	1,97	
		Cenizas	0,99	
		amoníaco (NH ₃)	0,36	
TSG.1-1	19.867,44	agua	60,21	Látex Normal Homogenizado
		hidrocarburo caucho	31,59	
		Proteínas	2,96	
		resinas	1,97	
		azúcares	1,97	
		cenizas	0,94	
TSG.1-2	29,85	MgNH ₄ PO ₄	100,00	Sedimentos Retirados
CG.1-1	8.642,44	agua	37,00	Látex centrifugado
		sólidos totales	63,00	
		hidrocarburo caucho	61,73	
		sólidos no caucho	1,27	
		amoníaco (NH ₃)	0,00	
CG.1-2	11.225,00	agua	78,09	Suero obtenido en la centrifugación
		hidrocarburo caucho	8,39	
		sólidos no caucho	12,92	
		amoníaco (NH ₃)	0,61	
TB.2.am	78,07	amoníaco (NH ₃)	25,00	-
		agua	75,00	
THG.2.am	170,89	amoníaco (NH ₃)	25,00	-
		agua	75,00	
THG.2-1	8.891,40	agua	38,06	Látex Concentrado
		hidrocarburo caucho	60,00	
		sólidos no caucho	1,24	
		amoníaco (NH ₃)	0,70	

TAG.1-2	11.225,00	agua	78,09	Suero acondicionado para la extracción
		hidrocarburo caucho	8,39	
		sólidos no caucho	12,92	
		amoniac (NH ₃)	0,61	
TRD.1.aire	18.831,31	aire	100,00	-
TRD.1-2	11.163,67	agua	78,52	Suero con menor contenido de amoniaco
		hidrocarburo caucho	8,43	
		sólidos no caucho	12,99	
		amoniac (NH ₃)	0,06	
TRD.1-3	18.892,65	aire	99,68	Amoniaco recuperado
		amoniac (NH ₃)	0,32	
TB.am	244,94	agua	75,00	Sln. Amoniaco recuperada
		amoniac (NH ₃)	25,00	
TB.1-2	18.831,41	aire	100,00	Aire
		amoniac (NH ₃)	5,1E-04	
TAG.2.ac	8,71	ácido acético	99,00	-
TAG.2-2	11.172,37	agua	78,46	Suero acidificado
		hidrocarburo caucho	8,43	
		sólidos no caucho	12,98	
		amoniac (NH ₃)	0,06	
		ácido acético	0,08	
TCG.1-2	2.911,70	humedad	60,00	Coágulos de caucho de natas
		hidrocarburo caucho	31,04	
		sólidos no caucho	8,96	
		amoniac (NH ₃)	0,00	
TCG.1-3	8.260,67	humedad	84,96	Suero obtenido en la coagulación del caucho de natas
		hidrocarburo caucho	0,46	
		sólidos no caucho	14,39	
		amoniac (NH ₃)	0,08	
		ácido acético	0,11	
CUG.1-2	1.248,38	humedad	10,00	Migas de caucho de natas
		hidrocarburo caucho	72,40	
		sólidos no caucho	17,61	
CUG.1-3	1.663,32	humedad	97,52	Suero retirado de los coágulos al convertirlos migas
		hidrocarburo caucho	0,00	
		sólidos no caucho	2,48	
SCG.1-2	1.129,23	humedad	0,50	Caucho de natas seco
		hidrocarburo caucho	80,04	
		sólidos no caucho	19,46	
PRG.1-2	1.130,23	humedad	52,29	Balas de Caucho de natas seco
		hidrocarburo caucho	61,78	
		sólidos no caucho	71,26	

4.3.2 Diagrama de Bloques y de Flujo del Proceso Seco

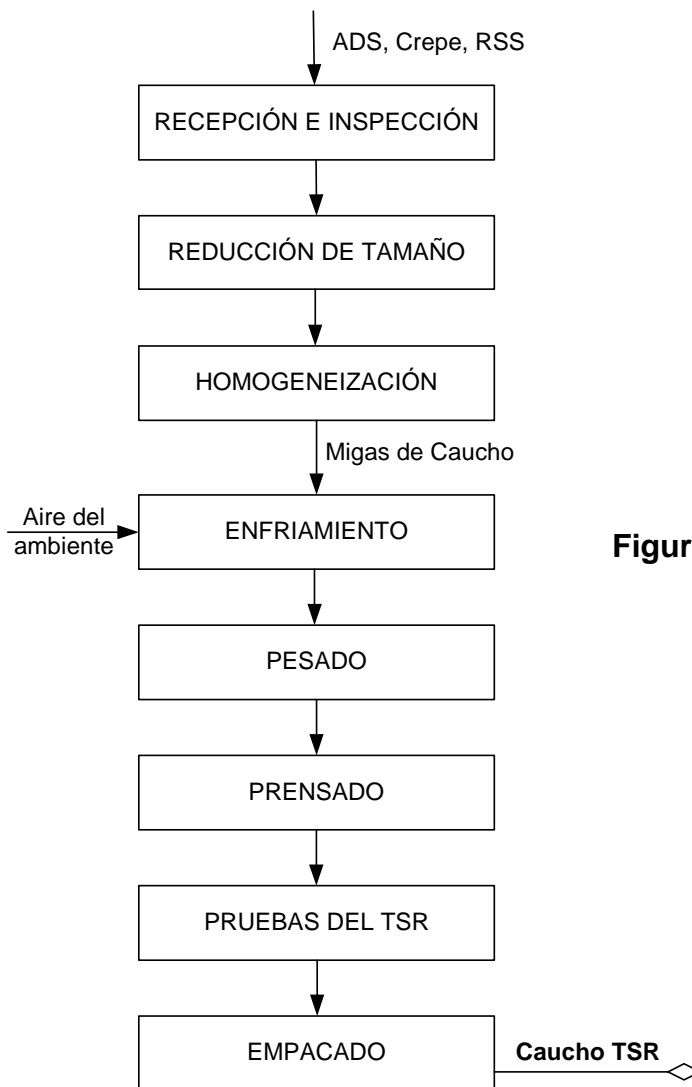


Figura 11. Diagrama de Bloques del Proceso Seco

El proceso seco para obtener caucho técnicamente especificado se establece teniendo en cuenta que es un proceso sencillo, adaptable a otras líneas de producción de caucho ya establecidas, que no contamina el ambiente y es económico. Además, esta planta compraría la producción de caucho seco de los pequeños productores, lo que les garantiza un mercado estable que contribuiría al fomento del cultivo y beneficio del caucho.

La materia prima para este diseño básico está conformada por las hojas secadas al aire producidas por los pequeños productores, cuya composición se establece en el diseño de la planta pequeña.

El diseño se realiza considerando que durante todas las etapas del proceso solo ocurren transformaciones físicas de la materia y sin pérdidas, por lo tanto de las 6,55 toneladas de caucho seco que ingresa diariamente al proceso se obtiene la misma cantidad de caucho del tipo técnicamente especificado, el cual es sometido a pruebas que garanticen su calidad y permitan clasificarlo como algún tipo de TSR (Anexo M).

Cabe destacar que el tipo de TSR obtenido depende básicamente de la calidad de la materia prima que ingresa al proceso, sin embargo, se espera que de las hojas secadas al aire se pueda llegar a obtener TSR – 5, como se logra en Malasia [6].

Figura 12. Diagrama de Flujo del Proceso Seco.

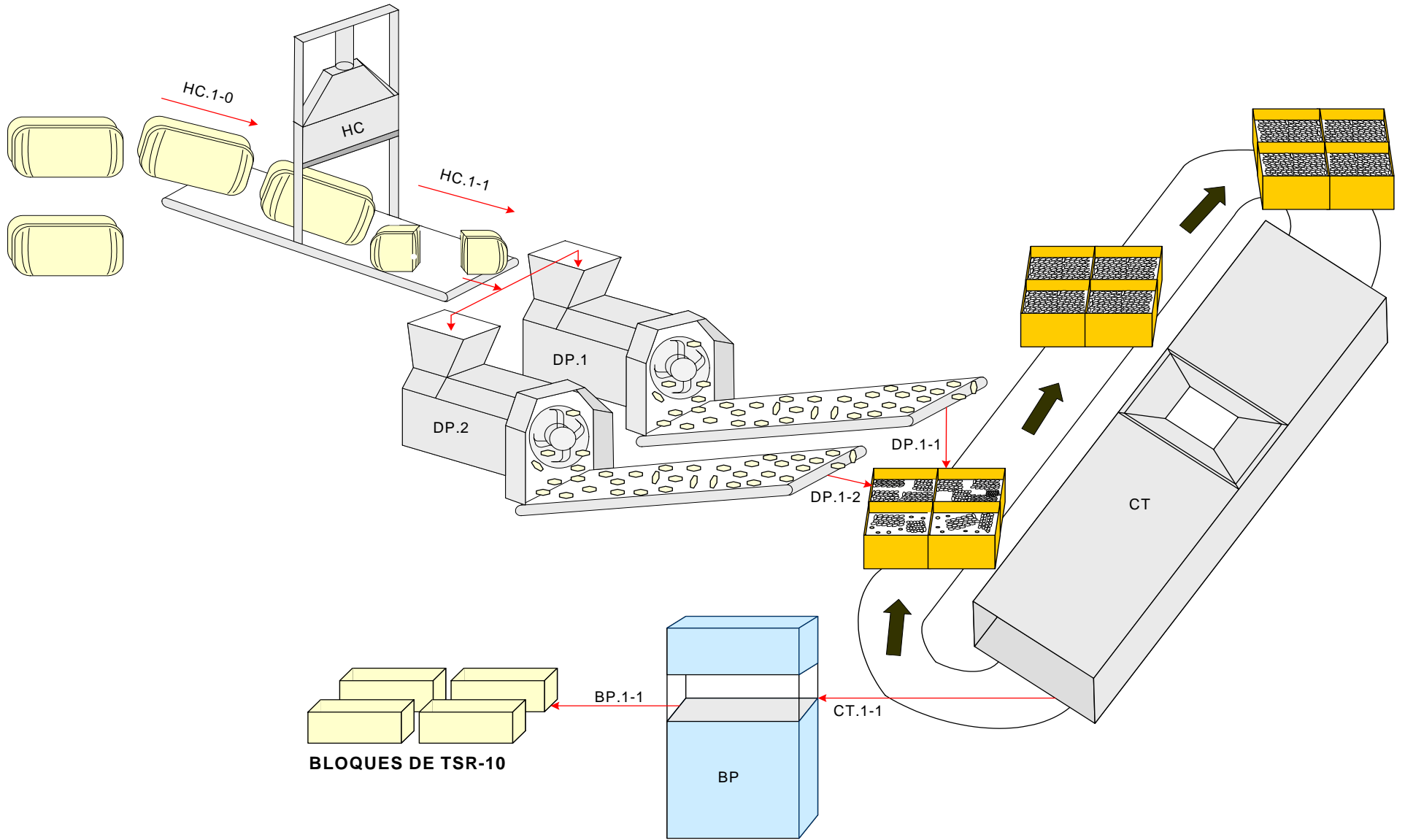


Tabla 16. Balance de Masa del Proceso Seco.

Nombre de la corriente	Flujo másico total (Kg/día)	Composición		Denominación	Tamaño	Temp.
		Componente	% peso			
HC.1-0	6555,56	humedad	5,00	Balas de láminas de caucho	50 x 50 cm	25°C
		hidrocarburo caucho	89,94			
		proteínas	2,39			
		resinas	2,39			
		cenizas	0,28			
HC.1-1	6555,56	humedad	5,00	Bloques de caucho	50 x 25 cm	25°C
		hidrocarburo caucho	89,94			
		proteínas	2,39			
		resinas	2,39			
		cenizas	0,28			
DP.1-1	3277,78	humedad	5,00	Migas de caucho	2,5 cm	90°C
		hidrocarburo caucho	89,94			
		proteínas	2,39			
		resinas	2,39			
		cenizas	0,28			
DP.1-2	3277,78	agua	5,00	Migas de caucho	2,5 cm	90°C
		hidrocarburo caucho	89,94			
		proteínas	2,39			
		resinas	2,39			
		cenizas	0,28			
CT.1-1	6555,56	humedad*	0,80	Caucho TSR-10	2,5 cm	40°C
		hidrocarburo caucho	97,75			
		nitrógeno*	0,60			
		impurezas*	0,10			
		cenizas*	0,75			
BP.1	6555,56	humedad*	0,80	Balas de TSR-10	79 x 40 x 30	25°C
		hidrocarburo caucho	97,75			
		nitrógeno*	0,60			
		impurezas*	0,10			
		cenizas*	0,75			

*Corresponde al porcentaje máximo que puede llegar a tener para ser TSR-10

5. ANÁLISIS Y PRUEBAS

No se concibe una industria sin análisis y sin pruebas que aseguren un cierto control de las materias primas empleadas y de los productos fabricados. A su vez, el número y tipo de pruebas y análisis que se realizan depende del nivel tecnológico del proceso.

A continuación se describen las diferentes pruebas y análisis que se le realizan al látex y al caucho natural en las diferentes etapas de su procesamiento.

5.1 LÁTEX NATURAL

El contenido de hidrocarburo caucho (%DRC) presente en el látex, es el parámetro más importante que se desea conocer desde el punto vista comercial y su determinación debe ser realizada al látex fresco, normal y concentrado. Al látex normal se le debe realizar, por lo menos, análisis que indiquen su contenido de amoníaco y de ácidos grasos volátiles (VFA).

Además, al látex concentrado se le realizan otras pruebas para caracterizarlo según las normas internacionales establecidas [16], estas son:

- Contenido de sólidos totales
- Índice o número de KOH
- Estabilidad mecánica
- Contenido de cobre
- Contenido de manganeso
- Contenido de coágulos

5.1.1 Hidrocarburo Caucho

Un método aproximado para estimar la cantidad de hidrocarburo caucho, es utilizando un densímetro graduado en términos del DRC conocido como Metrolac [5, 15]. Debido a la viscosidad del látex, no es posible realizar una determinación directa con el Metrolac, por lo que se requiere tomar una muestra del látex y diluirla con dos volúmenes de agua para determinar el contenido de DRC.

Sin embargo, el método estandarizado consiste en coagular completamente una cantidad conocida de látex, luego maxalar bajo una corriente de agua, secar y pesar hasta peso constante, siendo este peso el del hidrocarburo de caucho [16].

5.1.2 Alcalinidad Total

Es importante su determinación para comprobar si la cantidad incorporada de amoniaco al látex es la adecuada y asegurar su conservación. Además es útil para poder neutralizar el látex exactamente, con miras a posteriores empleos.

Se puede valorar directamente el amoniaco por medio de una titulación, utilizando una solución ácida conocida [16]. Sin embargo, al destilar el amoniaco y recoger el gas en solución también se puede determinar la alcalinidad.

5.1.3 Ácidos Grasos Volátiles

Su determinación es un medio de apreciación del estado de conservación del látex, ya que son parcialmente responsables del aumento del número o índice de potasa y de la acción nociva sobre la estabilidad mecánica.

El método de valoración consiste en coagular el látex y al suero acidulado se le retiraran los ácidos volátiles por arrastre con vapor, se recogen en agua y se valoran con agua de barita [16].

5.2 CAUCHO NATURAL

Los criterios de aspectos y limpieza son los parámetros más importantes para la clasificación del caucho, a pesar de que a nivel internacional han surgido otros parámetros estándar de clasificación, graduación, calidad y presentación.

5.2.1 Suciedad

Consiste en la determinación de las impurezas no solubles contenidas en el caucho natural, mediante la dilución de una muestra de caucho natural con el objeto de obtener una solución fluida que es filtrada a través de tamices donde se retienen las impurezas, las cuales se pesan [17, 18] .

5.2.2 Cenizas

Es el procedimiento por medio del cual se elimina el material orgánico siguiendo los pasos de una desintegración térmica o pirolisis, y los compuestos inorgánicos se convierten a sus formas más termoestables con una tendencia general a la formación de los óxidos.

Para su determinación se toma una muestra de caucho natural de peso conocido y se calcina a temperatura constante [17,19].

5.2.3 Material Volátil

El contenido de material volátil depende del proceso de secado. Se determina por medio de la pérdida de peso que sufre una muestra de caucho natural de peso conocido cuando se somete a secado en una estufa [17, 20].

5.2.4 Nitrógeno

Consiste en la determinación de la cantidad de nitrógeno presente en una muestra de caucho natural, mediante la conversión del nitrógeno en amoníaco, y la recuperación de éste por destilación, basado en método de Kjeldahl [17, 21].

5.2.5 Índice de Retención de Plasticidad

Este método da una indicación de la resistencia a la oxidación del caucho natural a una temperatura específica. Esta resistencia es indicada por el índice de retención de plasticidad (PRI), que es la relación expresada como un porcentaje de la plasticidad vieja y la original determinadas por medio de un plastímetro de platos paralelos [22].

Además de los análisis descritos, existen otros ensayos que se le realizan al caucho natural, como son:

- Determinación de cobre
- Determinación de manganeso
- Determinación de hierro
- Prueba de tracción
- Dureza
- Resistencia al desgarre

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar una evaluación primaria de cada uno de las plantas se utilizan los criterios de Retorno de la Inversión (ROI) y el Tiempo de Pago (Payout Time), los cuales no consideran el cambio del valor del dinero en el tiempo [30].

Además, se calcula el Valor Presente Neto (VPN) para incluir el efecto del valor del dinero en el tiempo utilizando una Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) del 15% y se estima la TIR máxima para cada una de los proyectos correspondiente a un VPN igual a cero, la cual debe ser superior al 15% para obtener ganancias superiores y asegurar la rentabilidad del proyecto.

Para realizar el análisis económico del proceso, es necesario cotizar el precio de los principales equipos y de las materias primas de cada planta. Con base en el costo total de los equipos, se halla el capital fijo de inversión evaluando los costos directos y los costos indirectos a partir de los rangos de porcentajes encontrados para una típica planta química [30].

Tabla 17. Información Económica de los Proyectos.

		PEQUEÑA*	MEDIANA	LÁTEX	TSR
Producto		Láminas de caucho	Hevea Crumb	Látex Centrifugado	TSR - 10
Subproducto		Ripio	Hevea Crumb 2	Caucho de Natas	
Velocidad de Producción (Kg/día)		32,78	491,68	8.891,40	6.555,56
Inversión Inicial	Capital Fijo	6.998.750	531.379	1.643.833	348.574
	Capital de Trabajo	1.049.812	79.7067	246.575	52.286
Costo Total de Producción (US\$/año)		34.100.611	266.698	3.046.122	3.792.857

Ganancia Neta Anual (US\$/año)	5.906.368	38.874	-1.057.818	10.834
Tasa de Retorno sobre la Inversión, ROI	1,77	0,09	-0,66	0,38
Tiempo de pago (años)	0,54	5,50	-1,74	2,11
Valor Presente Neto (VPN) para TMAR=15%	75.210.287	-264.714	-9.174.441	509.443
TIR para VPN = 0	1,77	-	-	0,38

* El valor de la inversión inicial, el costo de producción y la ganancia neta anual se encuentra en pesos Colombianos.

6.1 PLANTA PEQUEÑA

Los criterios de evaluación económica se calculan obviando el costo del secador solar (puesto que no se cuenta con su diseño) obteniendo un valor de ROI y TIR mayor a 1 (Anexo N).

Debido a estos resultados, se realiza el análisis para determinar el costo total de los equipos para obtener una TIR máxima cercana al 25%. La diferencia entre el costo inicial de los equipos y el estimado con la TIR máxima, representaría la inversión que se puede realizar en el equipo de secado. Estos resultados se aprecian en la tabla 18.

Tabla 18. Resultado del Análisis Económico de la Planta Pequeña.

Costo total de los equipos (\$)	Ganancia neta anual (\$/año)	ROI	Tiempo de pago (años)	T.I.R.
2'799.500	5'906.367	1,77	0,54	1,77
5'799.500	4'885.844,19	0,69	1,29	0,69
8'000.000	4.067.784,05	0,41	2,01	0,41
9'800.000	2'833.316,03	0,25	2,95	0,25
10'000.000	2'785.265,35	0,23	3,09	0,23
20'000.000	-2'165.474	-0,07	52,02	-

6.2 PLANTA MEDIANA

Se realiza la estimación de costos teniendo en cuenta los equipos principales del diseño y se calculan los criterios de evaluación económica (Anexo N) encontrando un Valor Presente Negativo, indicando que los egresos generados son mayores que los ingresos y no se llegaría obtener la tasa esperada.

Por lo anterior, se analizan los gastos del proyecto y se observa que pueden llegar a reducirse si se disminuye el costo de los equipos. Debido a que la crepadora es el equipo de mayor costo y que puede ser utilizado unitariamente sin afectar la producción simplemente pasando varias el coágulo de caucho, se realiza un análisis calculando los criterios de evaluación económica variando el número crepadoras. Los resultados se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados del Análisis Económico de la Planta Mediana.

# Crepadoras	Costo total de los equipos (US\$)	VPN	ROI	Tiempo de pago (años)	T.I.R.
3	170.041,35	-264.714,30	0,093	5,50	-
2	123.061,35	-15.025,14	0,162	3,99	-
1	76.081,35	189.188,44	0,286	2,67	0,28

6.3 PLANTA GRANDE

6.3.1 Planta de Látex Centrifugado

El costo de producción calculado a partir del costo total de producción y de la producción total de látex centrifugado (3.200.903,89 Kilogramos por año), es de 0,9516 US\$/Kg (Anexo N).

Actualmente el precio en el mercado del látex centrifugado es de 0.5359 US\$/Kg. Apreciándose claramente que no es posible obtener ganancias con este precio de

venta, por lo que se plantea encontrar el precio a partir del cual se favorecería el proyecto.

Para representar mejor el comportamiento económico del proyecto, se calcula una tasa interna de retorno para un Valor Presente Neto igual a cero, variando el precio del látex centrifugado en un rango comprendido entre 0,94 - 1.01 US\$/Kg, al mismo tiempo que se calcula la ganancia neta anual. Los resultados se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados del Análisis Económico de la Planta de Látex.

Precio venta de Látex (US\$/Kg)	Ganancia neta anual (US\$/año)	ROI	Tiempo de pago (años)	T.I.R.
0,946	0,00	0,09	5,58	0,05
0,952	13.937	0,11	5,13	0,07
0,966	50.698	0,15	4,24	0,15
0,980	86.548	0,19	3,62	0,23
1,003	145.445	0,25	2,92	0,25

En la tabla anterior se aprecia que:

- Se requiere como precio mínimo del látex centrifugado el equivalente a 0,946 US\$/Kg para que el proyecto no genere ganancias ni pérdidas.
- Con precios de venta del látex centrifugado superiores a 1,003 US\$/Kg, se pueden obtener tasas internas de retorno superiores a la TMAR y obtener ganancias con tiempos de retorno inferiores a 2,9 años.

6.3.2 Planta de TSR

La rentabilidad obtenida para este diseño es alta ya que la TIR calculada para un VPN = 0 supera la tasa mínima atractiva de retorno, además el tiempo de pago es corto y la tasa de retorno sobre la inversión es alta como se aprecia en los resultados en la tabla 17.

7. CONCLUSIONES

La producción nacional de caucho natural es llevada a cabo en su mayoría por pequeños productores que realizan el proceso de beneficio en forma artesanal involucrando ciertas deficiencias de contaminación por el inapropiado aseo de los equipos y en el secado que disminuye la calidad de las láminas de caucho. Por ello se realizó un diseño básico para 10 hectáreas de caucho natural en producción, en el que se propone construir canoas de coagulación graduadas que permitan medir con exactitud el volumen del látex y el contenido de agua y ácido requerido y utilizar rasquetas de agitación para garantizar la homogeneización de la mezcla e implementar el uso de un secador solar que permita controlar la humedad del producto de forma ambiental y económica.

La rentabilidad encontrada para la planta pequeña sin incluir el costo de un equipo de secado es lo suficientemente alta para permitir la inversión de tecnología en esta etapa y aún obtener una tasa interna de retorno del 23%.

El diseño básico de la planta mediana se basó en el proceso Hevea Crumb, el cual consiste en desmigajar los coágulos de caucho para facilitar su lavado y secado. A partir del análisis económico se concluye que con uso de tres crepadoras (recomendado por la literatura) el proyecto no es rentable, sin embargo, si solamente se utiliza una de estas pasando los coágulos de caucho varias veces por ella, se obtiene una tasa interna de retorno del 28%.

El diseño básico propuesto para la producción de látex centrifugado incluye el procesamiento del caucho de natas y la recuperación de la solución de amoniaco al 25%. El precio del látex centrifugado en el mercado es de 0,5359 US\$/Kg y del análisis económico se obtiene que el precio del látex centrifugado que genera una

tasa interna de retorno igual a la tasa mínima atractiva de retorno del 15% es de 0,966 US\$/Kg.

El proceso seco es flexible porque puede ser incorporado al procesamiento artesanal para la producción de caucho técnicamente especificado y es económicamente rentable al calcular los criterios de evaluación económica. Esta propuesta constituye una opción para fortalecer la cadena agroindustrial del caucho natural, mediante la creación de centrales de beneficio que procesen el caucho producido por los pequeños productores a TSR.

8. RECOMENDACIONES

- Dado que no se tienen las curvas experimentales de secado del caucho natural, se recomienda realizar la experimentación requerida y luego diseñar un equipo de secado económico, ecológico y práctico, como lo es un secador solar.
- Se sugiere realizar la caracterización de las láminas secadas al aire producidas en el país para darle un mayor valor agregado.
- Se recomienda experimentar en el uso de otros preservantes del látex que arrojen resultados iguales o superiores que los obtenidos con el amoniaco.
- Se sugiere realizar en detalle el diseño de una planta procesadora de látex de caucho natural utilizando el proceso seco.

BIBLIOGRAFIA

1. RINCON, Ovidio. Manual para el Cultivo del Caucho. Bogotá: Corporación para la diversificación del ingreso cafetero, 1996.
2. NOBLE, Royce J. Latex in Industry. 2^{da} ed. New York: Palmerton Publishing Company. 1953.
3. LE BRAS, Jean. Fundamentos de ciencia y tecnología del caucho. Barcelona: Editorial Gustavo Pili. 1960.
4. Proyecto de Agroindustrialización del Caucho en Santander. Convenio IFI, ASOCACUHCO-PROCAUCHO. 2000.
5. SOLEIBE, Fernando. Manual Técnico del Cultivo del Caucho para la Zona Marginal Baja Cafetera de Caldas. Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. 1996.
6. KANG, T.W. Benefits of Using Dry Rubber Processing System in the Production of Technical Specified Rubber. Science and Technology. Octubre 2003.
7. TORRES ARANGO, Carlos Humberto. Manual para el cultivo del caucho en la Amazonía. Plan Nacional de Desarrollo Alternativo PLANTE. – Universidad de la Amazonía. Florencia, Caquetá. Colombia.1999
8. MORTON, Maurice. Rubber Technology. 2 edición. New York : Van Nostrand Reinhold, 1973.

9. FORERO, Laura y VARGAS, Viviana. Estudio para Mejorar el Proceso de Beneficio del Látex del Caucho Natural Producido en Santander. Tesis de Grado en Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. 1999.
10. www.tis-dv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm.
11. Industrial Sector Code of Practice for Pollution Prevention. Latex Industry Block Rubber (STR 20) Industry. Rubber Industry. Septiembre, 2001.
www2.easywebtime.com/ctu2004/pdf/codeofpractice_rubber_en.pdf
12. Environmental Protection Agency, EPA. Folleto Informativo de Tecnología de aguas Residuales, Extracción de Amoniaco por Arrastre con Aire. Washington D.C. Septiembre, 2000. www.epa.gov/owm/mtb/cs_00_019.pdf
13. www.emison.com/5154.htm
14. Corporación CEA. Apreciaciones Acerca del Mercado Nacional del Caucho Natural y sus Derivados. Bogotá. Enero 2002.
<http://bogotá.usembassy.gov/wwwfad19.pdf>
15. NAUNTON, W. Ciencia y Tecnología del Caucho. México: Continental, 1967.
16. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Specification for Rubber – Concentrate, Amonia Preserved, Creamed and Centrifuged Natural Latex. D 1076 – 88. Philadelphia: ASTM, 1992.
17. _____. Standard Test Methods for Rubber from Natural Sources – Chemical Analysis. D 1278 – 91. Philadelphia: ASTM, 1992.

18. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Determinación de la suciedad. Bogotá: ICONTEC, 1970.
19. _____. Determinación de cenizas. 343. Bogotá: ICONTEC, 1970.
20. _____. Determinación de materias volátiles. 351. Bogotá: ICONTEC, 1970.
21. _____. Determinación de nitrógeno. 347. Bogotá: ICONTEC, 1970.
22. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Methods of Testing Rubber from Natural Sources – Plasticity Retention Index (PRI). D 3194 – 84. Philadelphia: ASTM, 1992.
23. <http://www.jjtradelinks.com/html/j0300rub.htm>
24. Corporación CEA. Estudio del Mercado Mundial del Caucho y sus Derivados. Bogotá. Enero 2002. <http://bogota.usembassy.gov/wwwfad09.pdf>
25. TREYBAL, Robert. Operaciones de Transferencia de Masa. 2^{da} ed. México: McGraw-Hill. 1988.
26. PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. 7a ed. Tomo 3. MacGraw-Hill. 2001.
27. OCAZIO NEZ, Isabel y AVILA, Jairo. Diseño, Construcción y Evaluación de un Prototipo de Secador Solar para Cacao. Tesis de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. 1987.
28. www.santecindia.com

29. MORTON, Maurice. Introduction to Rubber Technology. New York: Reinhold Publishing Corporation. 1959.
30. PETERS, Max y TIMMERHAUS, Klaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 2ª ed. New York: McGraw-Hill. 1968.
31. <http://www.rcma-rubber.com>
32. MARTÍNEZ, Héctor. La Cadena del Caucho en Colombia, Una mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991 – 2005. Bogotá. Marzo, 2005. <http://www.agrocadenas.gov.co>
33. BIRD, R.B, STEWART, W.E y LIGHTFOOT, E.N. Fenómenos de Transporte. México: Reverté. 2001.
34. Núcleo Magdalena Medio Santandereano. Acuerdo Regional de Competitividad de la Cadena Productiva del Caucho Natural y su Industria en Santander. Bucaramanga. 2005.
35. www2.lgm.gov.my/mre/daily.aspx
36. <http://www.asiapacific.com.my>
37. <http://bbs.ecalm.net/>

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES DEL LÁTEX NATURAL

1. COMPOSICIÓN

Hidrocarburo Caucho

Es el constituyente principal de la materia sólida presente en el látex. Se encuentra disperso en él bajo forma de partículas pequeñas de 0.05 a 5 micras [3].

Prótidos y otros compuestos nitrogenados

Los constituyentes nitrogenados del látex son esencialmente próticos o productos derivados de la hidrólisis enzimática o química de los mismos. Una parte de estos próticos son adsorbidos sobre la superficie de las partículas del caucho y otra parte se encuentra distribuida en la parte acuosa (suero). Actúan como estabilizantes de la suspensión del hidrocarburo caucho y los absorbidos sobre las partículas de caucho son responsables del comportamiento coloidal del látex.

Azúcares

Son sólidos solubles en agua y el constituyente principal es el quebrachitol.

Lípidos

Comúnmente conocidos como resinas o extracto acetónico. Constituyen un factor importante en las propiedades del látex, son tensoactivos e intervienen en la estabilidad mecánica. Esta última es favorecida por los ácidos grasos de peso molecular elevado y desfavorecida por la acción de los ácidos grasos volátiles de bajo peso molecular, cuya proporción aumenta con la duración de almacenamiento del látex [3].

Elementos minerales

Se encuentran en poca proporción en el látex, los más frecuentemente encontrados en proporción variable son: potasio, sodio, rubidio, magnesio, fósforo,

calcio, cobre, manganeso, hierro, así como trazas de azufre, silicio y aluminio. El potasio es el elemento que se presenta en mayor contenido 0,2% del peso de cenizas, seguido por el magnesio y el fósforo con un 0.07%.

2. PROPIEDADES COLOIDALES

El látex es un sistema coloidal, es decir, una suspensión o emulsión de partículas, las cuales se caracterizan por su movimiento, carga eléctrica, y la manera en la cual la luz es transmitida a través de la solución y reflejada de ella.

La fase dispersante o suero, contiene los constituyentes no caucho solubles en el agua, prótidos, azúcares, aminoácidos, sales minerales, enzimas, etc. Es heterogénea, aunque se considera como una única fase dispersante, ya que sus constituyentes tienen un grado de dispersión más diluido que el de las partículas de caucho.

La fase dispersa está compuesta por las partículas de caucho, cuyas dimensiones varían según el origen del látex y las condiciones de recolección. Se ha establecido que casi todas las partículas de caucho son esféricas, aunque cierto número de ellas se presenta de forma piriforme, probablemente debido a que varias partículas esféricas se unen entre si para dar esta forma irregular y de mayor dimensión. Estas no permanecen inmóviles en el seno del látex, están sometidas al movimiento browniano y al cremado.

El cremado es debido al hecho de que las partículas de caucho, más ligeras que el medio de dispersión tienden a elevarse a la superficie del líquido, es extremadamente lento. El movimiento browniano es un fenómeno coloidal que mantiene las partículas de la fase dispersa en constante movimiento debido a las colisiones con las moléculas de agua, permitiendo mantener las partículas coloidales en constante suspensión al vencer la fuerza gravitacional [29].

La coagulación del látex se presenta al reducir o cesar el movimiento Browniano al diluirlo con cloruro de sodio, álcalis o sales metálicas, esto puede ser atribuido a la adsorción de iones metálicos o otras sustancias en la superficie de las partículas de caucho, formando una capa que aumenta el tamaño efectivo de las partículas, volviéndose más ligeras que el medio acuoso y formando una capa superior de látex concentrado (caucho natural).

El centro de las partículas de caucho está compuesto de hidrocarburo caucho y se encuentra rodeado de una capa absorbadora de esteroides, esteroides glucósidos y triglicéridos; su exterior es una capa absorbadora compuesta de proteínas y jabón de ácido graso y es la que determina la estabilidad y el comportamiento coloidal del látex, ya que tiene tendencia hidrófila (las moléculas de agua no se unen a las partículas).

El punto isoeléctrico de los prótidos del látex es del alrededor de 4,7 (rango de 4 a 5), para valores de pH mayores a 4,7 las partículas de caucho tienen una carga negativa y para pH menores a 4,7 la carga es positiva. Las partículas de látex fresco cuyo pH es próximo a 7 están cargadas negativamente, lo que determina una fuerza de repulsión entre las partículas asegurando así la dispersión de estas en el suero [3].

3. PROPIEDADES BIOQUÍMICAS [3]

Enzimas Coagulasas

Están presentes en el látex antes de la salida del árbol y son las responsables de la coagulación espontánea cuando dejamos reposar el látex fresco al aire libre por unas horas.

Enzimas Oxidasas - Peroxidasas

Catalizan la acción del oxígeno y de los peróxidos sobre ciertos constituyentes del látex, siendo las responsables del color grisáceo o rojizo que toma el caucho después de la coagulación; para evitar su acción se le añade bisulfito de sodio al látex. La velocidad de absorción de oxígeno en el látex depende de su pH, por ejemplo los látex preservados por medio de álcalis (pH aproximado de 10) son bastantes sensibles al oxígeno atmosférico.

Enzimas Proteolíticas

Pueden existir en el látex desde el árbol, pero también pueden provenir de bacterias introducidas durante y después de la sangría. La descomposición de los prótidos por la acción de estos fermentos puede ser igualmente el origen de la coagulación espontánea del látex.

Bacterias

Se han aislado por lo menos 27 especies de bacterias en el látex; algunas de ellas atacan los azúcares, fermentándolos en ausencia de aire y oxígeno dando lugar a la formación de ácido acético, láctico, butírico y gas carbónico. En presencia de aire, las bacterias proteolíticas se hacen activas y forman una secreción amarilla en el látex.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad

Según Rhodes [2], el suero tiene una gravedad específica ligeramente mayor que el agua (1.02), mientras que la gravedad específica de las partículas de caucho de la fase dispersa es de 0.9064, lo cual demostró luego de diversas determinaciones de la gravedad específica de látex preservado y por medio de la siguiente relación:

$$\text{gravedad específica del látex} = \frac{(Cr + Cs) * SrSs}{(CrSs + CsSr)}$$

donde:

Cr: es el porcentaje de DRC

Cs: es el porcentaje de suero

Sr: es la gravedad específica de las partículas de caucho

Ss: es la gravedad específica del suero

Viscosidad

El látex es un líquido no newtoniano y generalmente tixótropo, su viscosidad varía principalmente por la concentración en caucho, aunque también es afectada por el tiempo y método de sangrado, la edad del árbol, el contenido de material no caucho, el tiempo de almacenamiento, el tamaño de las partículas, el método de preservación, entre otras. La presencia de amoníaco causa alguna disminución en la viscosidad comparada con el látex fresco. Generalmente, los resultados de las mediciones de viscosidad se obtienen de un mismo aparato a las mismas condiciones.

Según Rhodes, la viscosidad de un látex fresco de 30 - 32% de caucho es de 4,1 cp y la de un látex concentrado a un 60,4% de caucho es de 45,1 cp [2].

Tensión Superficial

La tensión superficial de un látex normal está comprendida entre 38 y 40 dinas/cm, y es disminuida por un gran número de sustancias contenidas en la fase acuosa del látex. El látex preservado debido a la presencia de amoníaco tiene una tensión superficial de 30,5 dinas/cm, mientras que la del látex concentrado por centrifugación es de 40 a 42 dinas/cm [2].

El mejor método para medir tensión superficial del látex es el que utiliza el aparato de Lecomte du Noüy (desprendimiento de anillo) y es una propiedad importante en muchas aplicaciones, como lo en la impregnación de textiles.

pH

Esta propiedad tiene una gran influencia sobre la estabilidad del látex. Actualmente, para su medición se ha generalizado el empleo de electrodo de vidrio, el cual permite obtener medidas rápidas y sensibles. El pH del látex fresco es casi neutro, pero puede pasar rápidamente a una condición ligeramente ácida con un pH de 5,8. Un látex preservado con amoníaco es de alrededor de 10.3 [3].

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del látex varía inversamente con el contenido de caucho, ya que esta ligada a los compuestos ionizables del suero. Cuando el látex fresco no se encuentra suficientemente preservado, ésta aumenta rápidamente, demostrándose que está en relación con el contenido de ácidos grasos volátiles, los cuales tienen una influencia perjudicial sobre la estabilidad mecánica [3].

Estabilidad Mecánica

Los principales factores que controlan la estabilidad del látex son el grado de hidratación de las partículas (solvatación) y la carga eléctrica que estas llevan. La solvatación es determinada por las proteínas y los jabones de ácido graso de la capa absorbadora y la carga de las partículas es determinada por el valor de pH y la presencia de iones metálicos [2].

ANEXO B. PROPIEDADES DEL CAUCHO NATURAL

1. PROPIEDADES FÍSICAS

En la tabla 1 se presentan las principales propiedades físicas del caucho natural, sus valores tabulados deben tomarse como datos promedio.

Tabla 1. Algunas propiedades Físicas del Caucho Natural.

Propiedad Física	Valor
Peso específico	0,92
Índice de refracción (20°C)	1,52
Coefficiente de expansión cúbica	0,00062/°C
Densidad de energía cohesiva	63,7 cal/cm ³
Calor de combustión	10700 cal/g
Conductividad térmica	0,00032 cal/s/cm ² /°C
Constante dieléctrica	2,37
Factor de potencia (1000 ciclos)	0,15 – 0,2 *
Resistividad volumétrica	10 ¹⁵ ohms/cm ³
Resistencia dieléctrica	1000 volts/mil

* El factor de potencia disminuye a 0,0015 y la resistividad aumenta mucho en el caucho sin proteínas.

FUENTE: MORTON, Maurice. Rubber Technology. 2 ed. 1973.

Comportamiento del Caucho en los Solventes

El caucho sumergido en un disolvente se separa en una fracción soluble (fase sol) y otra insoluble (fase gel), que tienen una relación o correspondencia en el grado de polimerización o de agregación [8, 15].

Los hidrocarburos (aromáticos, alifáticos, cíclicos, clorados, halogenados), bisulfuro de carbono, éteres, cetonas superiores y ácidos grasos superiores tienen una acción disolvente en el caucho natural, mientras las cetonas inferiores, los

alcoholes, los esteres inferiores, los compuestos hidroxilados y nitrados no son solventes [3, 8, 15].

Al aumentar el peso molecular, las moléculas del hidrocarburo aumentan sus ramificaciones y su complejidad. Durante el almacenamiento del látex o del caucho seco parece ser que suceden reacciones espontáneas que dan lugar a un número mayor de enlaces cruzados, mientras el hidrocarburo en el látex de reciente extracción es fácilmente soluble, siendo de esta forma que después de algunas semanas de estar almacenado el látex tratado con amoniaco, no pueda extraerse el hidrocarburo directamente en un disolvente. Estos cambios espontáneos también son la causa del endurecimiento progresivo del caucho almacenado a granel [15].

2. PESO MOLECULAR

Dado que el caucho natural tiene un alto peso molecular, los métodos clásicos de medición basados en la reducción del punto de congelación o en el aumento de la temperatura de ebullición no pueden ser usados. En lugar de estos, se puede usar mediciones de la viscosidad y la presión osmótica [8, 15]. El fraccionamiento de soluciones de caucho natural da a conocer que un rango de polímeros de variados pesos moleculares están presentes. Por esta razón, solo un peso molecular promedio puede ser asignado. Aún así, tal peso molecular promedio puede tener un rango de 200.000 a 500.000 [8].

El caucho natural existe en dos configuraciones geométricas, isómeros cis y trans. El caucho laminado y crepe, son de la forma cis poli-isopreno

ANEXO C. ESPECIFICACIONES DE LOS TIPOS DE CAUCHO NATURAL

Las siguientes son especificaciones sobre los diferentes tipos de caucho natural.

Tabla 1. Especificaciones del Látex Concentrado por Centrifugación o por Cremado, según la norma ISO 2004.

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: Corporación CEA, Bogotá, Colombia.

PDF, Estudio del Mercado Mundial del Caucho Natural y sus Derivados.

Tabla 4. Especificaciones del Caucho Técnicamente Especificado según la norma ISO 2000.

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: Página de internet: <http://www.jjtradelinks.com/html/j0300rub.htm>

Algunos de Tipos Especiales de TSR son [24]:

- *Caucho SP (Superior Processing)*: 80% Látex normal y 20% látex prevulcanizado.
- *Caucho AC (Anticristalizante)*: Mezcla de caucho natural y sintético.
- *Hevea Plus MG*: Ejemplo de caucho injertado. Inserción de monómeros como estireno.
- *Caucho Natural Peliticado*: Adhesivos en solución.
- *Caucho OENR (Oil Extended Natural Rubber)*: Caucho natural extendido con aceite. 25% aceite aromático y 75% Caucho Natural.
- *Caucho PA (Processing Aid)*.
- *Caucho DPNR (Deproteinized Rubber) o PP Crepe (Crepe Partiellement Purifie)*.

Tabla 2.
Calidades de
Hojas
Ahumadas.

Especificaciones Generales		No. IX RSS	No. 1 RSS	No. 2 RSS	No. 3 RSS	No. 4 RSS*	No. 5 RSS*
Proceso cuidadosamente controlado		✓					
Empaque	Libre de moho	✓	✓				
	Ligera presencia de moho seco			✓			
	Ligera presencia de óxido			✓			
	Presencia de moho seco				✓	✓	✓
	Presencia de óxido				✓	✓	✓
Características no permitidas en el caucho	Quemado	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Húmedo	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Sobre-ahumado	✓	✓	✓	✓		
	Fermentado	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Manchas de óxido	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Poco ahumado						✓
	Débil				✓	✓	✓
Características deseadas en el caucho	Seco	✓	✓	✓	✓	✓	
	Limpio	✓	✓	✓			
	Fuerte	✓	✓	✓	✓		
	Libre de manchas	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Libre de óxido	✓	✓	✓			
	Libre de burbujas	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Libre de arena	✓	✓	✓			
	Libre de material extraño	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Firme					✓	
	Ahumado uniforme	✓	✓				
Características permitidas en el caucho	Pequeñas burbujas (cabeza de alfiler)	✓	✓				
	Pequeñas partículas		✓				
	Ligeras cantidades de óxido			✓			
	Ligeras cantidades de moho seco			✓			
	Pequeñas partículas de corteza			✓	✓	✓	✓
	Pequeñas manchas de color				✓		
	Burbujas pequeñas			✓	✓	✓	✓
	Oxido				✓	✓	✓
	Moho seco				✓	✓	✓
	Manchas traslucidas					✓	
	Manchas						✓
	Ligeramente pegajoso					✓	✓
	Ligeramente sobre-ahumado					✓	✓
	Ligeramente fermentado						✓
Cantidad del envío total con características permitidas				5%	10%	20%	30%

* Calidades establecidas por la RMA, más no son consideradas internacionalmente

Tabla realizada por las autoras a partir de la información de la página de internet: <http://www.jjtradelinks.com/html/j0300rub.htm>

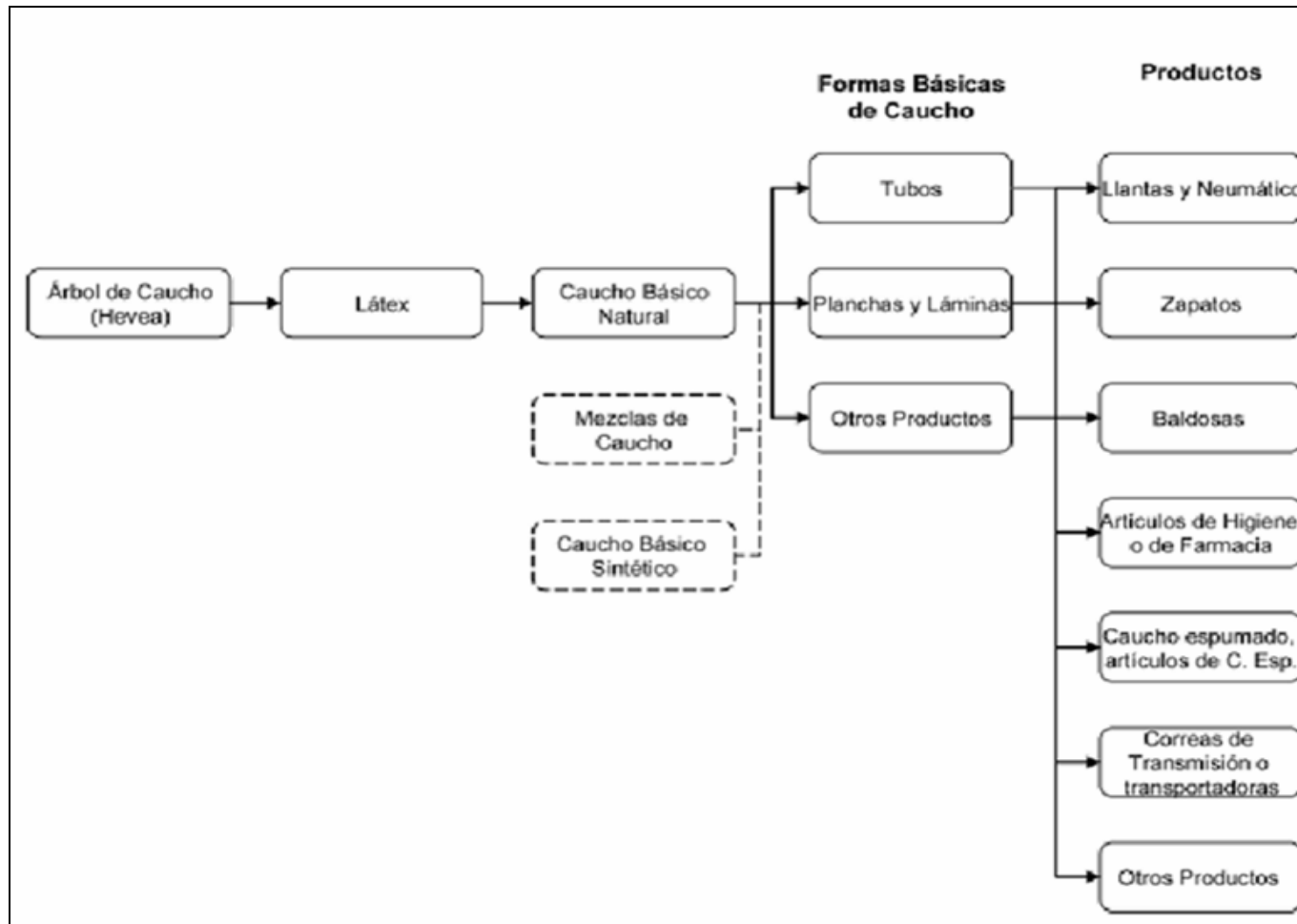
Tabla 3. Clasificación de las Hojas Crepe.		Crepe Pálido				Crepe Marrón de Fincas			
		Tipo Delgado	No. IX	No. 1	No. 2	No. 3	No. IX	No. 2X	No. 3X
		Tipo Grueso	No. IX	No. 1	No. 2	No. 3	No. IX	No. 2X	No. 3X
Proceso	Coagulación química	✓	✓	✓	✓				
	Cuidadosamente controlado	✓	✓	✓	✓				
	Adición de bisulfito (agente blanqueador)	✓	✓	✓	✓				
	Mezcla y molienda húmeda					✓	✓	✓	
Materia Prima	Látex fresco	✓	✓	✓	✓				
	Fondos de taza y otros recipientes (Lump)					✓	✓	✓	
	Cintillas (sernamby)					✓	✓	✓	
	Coágulos (scrap limpios)					✓	✓	✓	
	Caucho de corteza					Si se usa, debe ser pre-limpiado			
	Caucho de tierra								
	Cauchos húmedos de fincas								
	Hojas ahumadas Hojas sin ahumar de fincas								
Características deseadas en el caucho	Seco	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Textura								
	Limpio	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Olor								
	Firme	✓	✓	✓	✓				
	De color:	claro y uniforme	claro, con ligeras sombras	ligeramente más oscuro que el No. 1, con ligeras sombras	amarillento, con ligeras sombras	marrón claro	marrón	marrón oscuro	
Características no permitidas en el caucho	Decoloración	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Polvo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Manchas (aceite, etc)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Arena	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Materia extraña	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Evidencia de oxidación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Lodo								
	Fermentado								
Características permitidas en el caucho	Color no uniforme			✓	✓				
	Manchas y rayas de colores				✓				
	Puntos de hongos				✓				
	Manchas bebidas a la corteza							✓	
	Partículas de corteza								
Cantidad del envío total con características permitidas				10%	20%				

Crepe Marrón				Crepe Ambar			Crepe de Corteza Aplanado		Crepe Ahumado
No. 1	No. 2 *	No. 3 *	No. 4 *	No. 2	No. 3 *	No. 4	Normal	Duro	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
				Si se usa, debe ser pre-limpado			✓	✓	
							✓	✓	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
							medio dura a suave	gruesa y dura	duro
✓	✓	✓		✓	✓				✓
									ahumado
									✓
marrón claro	medianamente marrón	de medianamente marrón a medianamente marrón oscuro	de medianamente marrón oscuro a marrón oscuro	marrón claro	marrón	de marrón a marrón oscuro	de marrón oscuro a negro	de marrón oscuro a negro	Variaciones de marrón
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
							✓	✓	✓
							✓	✓	✓
		✓	✓		✓	✓			
			✓						
							✓	✓	

* Calidades establecidas por la RMA, más no son consideradas internacionalmente.

Tabla realizada por las autoras a partir de la página de internet: <http://www.jjtradelinks.com/html/j0300rub.htm>

ANEXO D. ESTRUCTURA DE LA CADENA DEL CAUCHO



FUENTE: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia.
PDF: La Cadena del Caucho en Colombia. Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991 – 2005.

ANEXO E. DEPARTAMENTOS PRODUCTORES DE CAUCHO NATURAL EN COLOMBIA



FUENTE: Corporación CEA, Bogotá, Colombia.

PDF, Estudio del Mercado Mundial del Caucho Natural y sus Derivados.

ANEXO F. PROCESO DE BENEFICIO DEL LÁTEX

1. PROCESO DE LATEX CONCENTRADO

Como el látex coagula espontáneamente algunas horas después de ser sangrado es necesario preservarlo para evitar esta coagulación, a fin de que pueda permanecer meses sin riesgo de putrefacción y coagulación.

El agente de preservación más utilizado es el amoniaco por su doble acción mejora la estabilidad por aumento de pH y detiene el desarrollo de los microorganismos coadyuvantes de la putrefacción (antiséptico).

Se ha intentado sustituir el amoniaco por otros agentes de preservación [2], mediante la reducción de los niveles de amoniaco y la incorporación de un preservante secundario [9]. El látex preservado de esta manera se conoce como látex con bajo amoniaco (LA), en contraposición con el látex convencional con alto amoniaco (HA).

Una porción del amoniaco puede ser eliminada si se requiere, mediante la aireación del látex con un gas inerte, la neutralización con dióxido de carbono o formaldehído, diálisis, centrifugación o por absorción en sílica gel [3].

Las propiedades físicas y químicas del látex preservado difieren de las del látex fresco: reducción de viscosidad y la tensión superficial, incremento de la velocidad de vulcanización, resistencia por algún tiempo a la degradación de las proteínas del látex y formación de sedimentos que contienen impurezas introducidas durante su manejo y fosfatos insolubles debido a la reacción del amoniaco con ciertos constituyentes del látex natural.

Es importante establecer las diferentes denominaciones dadas al látex durante el transcurso de su proceso:

- *Látex Fresco*: Corresponde al látex de campo, es decir, puro, sin la adición de agentes externos.
- *Látex Normal*: Se refiere al látex preservado, es decir, con una cierta cantidad de agente preservante.
- *Látex Concentrado*: Es el látex de mayor comercialización, que resulta de un proceso de eliminación de agua y preservado.

La industria del látex concentrado presenta algunos problemas ambientales como son, malos olores por evaporación del amoniaco, emisiones de gases de combustión originados en el quemador de los secadores y aguas residuales generadas durante la limpieza de los equipos. Estos problemas generan molestias a la comunidad, por lo tanto la mayoría de las industrias se encuentran ubicadas en zonas alejadas. A su vez, las aguas residuales deben pasar por una trampa de caucho, en donde este flota y es recogido, mientras que las aguas continúan su cauce a la planta de tratamiento [12].

1.1 Sangría

Es la actividad que consiste en remover cíclicamente un poco de la corteza del árbol para extraer el látex. Consiste en un corte inclinando de izquierda a derecha cerca de 20 – 30° de la horizontal, realizado con un cuchillo especial. Cada uno de los árboles que se van a sangrar, deben estar equipados con un canalón metálico que permita el flujo del látex desde la incisión hasta la vasija recolectora colocada previamente en el tronco del árbol.

Existen varios sistemas de sangrado, determinados por diferentes factores, tales como la forma, inclinación, longitud de la incisión, el número de cortes por árbol y

la periodicidad de la sangría. La elección del sistema está condicionada por la necesidad de obtener un rendimiento máximo [8].

El sangrado se realiza en horas tempranas de la mañana, justo después de la luz del día ya que se obtiene un mayor flujo de látex. Cada operario tiene como tarea sangrar de 200 a 500 árboles por día en jornadas de 4 a 5 horas. Obtienen aproximadamente 6 galones de látex que se recolectan en baldes.

1.2 Recolección

Consiste en depositar el látex contenido en cada una de las vasijas recolectoras en baldes limpios de 2 a 5 galones, y en recolectar por separado los diferentes scraps o coágulos de campo (cintillas, residuos de fondo de taza, caucho de corteza, caucho de tierra) no fermentados, útiles para la obtención de cauchos secundarios.

Se debe agregar a las vasijas utilizadas para la sangría un agente preservante para evitar la coagulación espontánea del látex, generalmente se utiliza amoniaco en solución al 5% en una cantidad de 2 cm³ por taza. Además, en algunas ocasiones se adiciona una pequeña cantidad de preservante a los baldes.

Si el látex es transportado a un centro de acopio, este debe ser protegido de la contaminación de suciedad o de la lluvia, y debe llegar con un contenido de amoniaco de aproximadamente 0,1%.

1.3 Filtración y Homogeneización

Todo el látex recolectado se inspecciona, se pesa, se mezcla y se agita en los tanques de homogeneización para obtener una suspensión homogénea; se controla al menos desde el punto de vista de limpieza y densidad, ya que esta última permite deducir la cantidad de hidrocarburo caucho presente en el látex.

El látex recolectado presenta precoágulos, insectos, flores, hojas, corteza y otras suciedades del ambiente, por lo que es necesario filtrarlo a medida que se transvasa desde los baldes a los tanques de homogenización. La filtración se realiza con una malla metálica de acero inoxidable provista con agujeros de aproximadamente 1/6 de pulgada de diámetro.

En los tanques de homogenización, generalmente de 600 a 800 galones imperiales, se adiciona más amoniaco, dependiendo del futuro uso del látex:

- Si va ser concentrado por centrifugación, se agrega la cantidad necesaria para alcanzar la relación de 3,5 a 4 gr de amoníaco por litro de látex.
- Si va ser evaporado, se puede adicionar un álcali estable.
- Si va ser látex normal, el contenido de amoniaco es llevado a 0.7 – 1% con respecto al peso del látex.

1.4 Sedimentación

El látex se deja en reposo durante 24 horas para que la fina materia inorgánica insoluble, como la arena, sílice y el complejo fosfato amónico-magnésico [2], sedimento y sea retirada. La cantidad de materia precipitada puede ser del 0,1 al 0,15% del peso del látex.

Esta etapa se puede realizar en los mismos tanques de homogenización o en tanques apropiados para sedimentación. Estos tanques deben estar provistos de dos salidas, una para los sedimentos y otra para el látex, y ubicados de tal forma que permita la alimentación por gravedad a la centrifuga.

Para garantizar la remoción de la materia inorgánica el látex es nuevamente filtrado a través de finos tamices (malla 50 a 60). Se logran mejores condiciones de filtración si se emplea un filtro rotatorio auto- limpieza.

1.5 Concentración.

En la concentración se elimina parte del agua contenida en el látex, sin que este pierda sus propiedades dispersivas, esto se logra mediante diferentes métodos de concentración [2].

- **Evaporación.** Para evitar la coagulación del látex por la elevación de la temperatura, es necesario estabilizarlo añadiéndole coloides protectores y álcalis. Se obtiene látex concentrado del 70 al 75% de materia sólida, sin afectar sus constituyentes no caucho y presentando una relativa estabilidad frente a la coagulación.
- **Cremado.** Se basa en la diferencia de densidades entre las partículas de caucho y el suero, formándose dos capas líquidas, una superior con las partículas de caucho (crema) y otra inferior con mayor contenido de agua (suero). Debido a que este proceso en forma natural sucede a una velocidad muy lenta, es necesario agregar al látex un agente de cremado (compuestos a base de mucílagos vegetales o de productos sintéticos) para acelerar el proceso. Entre los principales agentes de cremado se encuentran la gelatina, la goma arábica, los alginatos, los alcoholes polivinílicos y sus ésteres.

Este método de concentración de látex, lo priva de gran parte de los constituyentes solubles en agua, ya que estas se encuentran parcialmente disueltas en el suero, mientras que la crema contiene en solución una parte del agente de cremado utilizado. El látex concentrado contiene un total de sólidos del 68% y un contenido de caucho del 66,8%.

- **Electrodecantación.** Su principio se basa en la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico entre dos electrodos, ocasionando que las partículas de caucho con carga negativa se muevan hacia el ánodo. Estas las intercepta la membrana semipermeable, en donde las partículas tienden a formar reaglomerados sueltos en la superficie de la membrana (crema).

- **Centrifugación.** El látex se somete a una fuerza centrífuga, la cual separa las partículas de caucho del suero debido a sus diferencias de densidades.

Se utiliza látex normal con DRC (contenido de hidrocarburo caucho) mayor o igual al 25%, con 0,2 a 0,3% de amoníaco y menos de 0,05 de ácido grasos volátiles. Cuando este es sometido a la fuerza centrífuga, forma dos fracciones, el concentrado con 60 - 62% de hidrocarburo caucho y pocos constituyentes no caucho, y el suero con 5 a 15% de sólidos totales (en su mayoría no caucho). Las partículas de caucho contenidas en el suero son de diámetro muy pequeño, en comparación con las del concentrado.

El suero puede ser coagulado para obtener hojas de caucho, si contiene aproximadamente un 10% de DRC, puede ser cremado para reducir el contenido de sólidos a un 3%, o puede ser neutralizado con ácido sulfúrico para ser usado como fertilizante.

Se utilizan centrifugas separadoras, como, la de DeLaval y Sharples machine; cuyas diferencias esenciales se aprecian en tabla 1. Sin embargo, cualquier diseño debe ser construido tal que todas las partes que estén en contacto directo con el látex sean resistentes a la corrosión por amoníaco, se recomienda que los discos separadores y los recipientes sean de acero inoxidable.

Tabla 1. Especificaciones de las centrifugas DeLaval y Sharples machine.

DeLaval	Sharples machine
Recipiente de 6,5 in. de profundidad y 11,5 in. De diámetro.	Tiene un recipiente en forma cilíndrica de 4 in. por 3 ft. de longitud
Velocidad de rotación de 8000 rpm.	Velocidad de rotación de 18000 rpm.

En operación, el látex es alimentado axialmente a velocidad tal que aproximadamente volúmenes iguales de concentrado y suero sean obtenidos. En el fondo del recipiente al látex se le aplica la fuerza centrífuga para separar el concentrado del suero, los cuales son descargados por ductos diferentes.

Para controlar el tiempo y las condiciones de operación a las cuales será sometido el látex, se debe tener un contenido de caucho establecido. Generalmente la velocidad de la centrifuga es fija, así que las variables para los propósitos de control son: las revoluciones por minuto y ciertos ajustes mecánicos para efectos de separación de las fracciones, como es la velocidad de alimentación (50 – 150 gal/h) que permite regular la relación de los volúmenes de concentrado y suero.

1.6 Empaque

Puesto que gran parte del amoníaco originalmente adicionado al látex se pierde en el suero, es necesario, no solo reemplazar esta pérdida sino incrementar el contenido de amoníaco a aproximadamente 0,7% para darle estabilidad mecánica al concentrado final, aunque se pueden usar otros estabilizantes⁵ para propósitos especiales.

Al látex concentrado se le realizan pruebas y análisis según las normas establecidas internacionalmente, para caracterizarlo según las exigencias del mercado y poder comercializado fácilmente.

El látex concentrado se empaca en toneles o canecas de 200 litros generalmente de chapa de acero, e interiormente recubiertos con látex seco, pintura, parafina, o

⁵ Los agentes de estabilización se encargan de evitar la coagulación del látex cuando hay que manejarlo en condiciones de pH o temperatura perjudiciales para su estabilidad [3].

productos a base de plásticos de polietileno, para prevenir la corrosión o contaminación del látex.

2. PROCESO HÚMEDO DEL CAUCHO SECO

La cantidad de caucho seco obtenida del látex en kilogramos por hectárea y por año, varía de forma importante según la naturaleza y la edad de los árboles. Los árboles de hevea de semillas no seleccionadas presentan menor rendimiento que los de semillas clonadas y estos a su vez que los árboles de injerto con ricoproductores.

La producción de látex por hectárea (de 400 a 500 árboles por hectárea) durante el primer año de sangría es de 1200 litros, la cual se va incrementando gradualmente hasta 4800 litros, obteniéndose respectivamente 400 y 1600 Kg de caucho seco por hectárea [1].

Las etapas de sangría, recolección, filtración y homogeneización para la producción de caucho se realizan como se describe en el proceso de látex concentrado. Sin embargo, cuando el látex va ser procesado en un periodo menor de 5 horas, no se requiere la adición de amoniaco.

2.1 Dilución

El objetivo de esta etapa es disminuir el porcentaje de hidrocarburo caucho del látex entre el 12 y 20%, adicionándole agua limpia para facilitar su posterior coagulación. Es necesario caracterizar el látex recogido para conocer el contenido de hidrocarburo caucho, y así determinar la cantidad de agua que se requiere adicionar.

Generalmente, el látex de los árboles de edad promedio tiene un 30% de hidrocarburo de caucho (DRC) y como se requiere a un 15% de DRC, la cantidad de agua para un 1 litro de látex según el clima es:

- Época de Lluvias: 0,5 litros
- Época de Verano: 2 litros
- Época Normal: 1 litro

Sin embargo, la dilución también depende del tipo de caucho seco a elaborar.

Esta etapa se puede llevar a cabo en los mismos tanques de homogenización o en las canoas de coagulación, cuando el proceso únicamente se centra en la producción de caucho seco.

2.2 Sedimentación

A diferencia de la sedimentación efectuada en el proceso de látex concentrado, aquí el látex diluido se deja en reposo de 2 a 3 horas para separar la arena y/o cieno que sedimenta.

2.3 Coagulación

La carga de las partículas de caucho y su solvatación asegura su dispersión a través del suero, actuando sobre uno u otro de estos factores, o aún mejor sobre ambos, se provoca la coagulación, la cual se define como el agrupamiento de todas las partículas de caucho para separarlas del suero.

La coagulación generalmente se realiza en canoas, gaveras o pocetas de madera o fibra de vidrio [1], o en tanques de coagulación con capacidad de 700 a 1500 litros [4], en donde el látex es dejado en reposo. Este proceso puede llevarse a cabo de diferentes maneras [3]:

- **Coagulación espontánea.** Se atribuye a la acción de enzimas o bacterias que reaccionan sobre los constituyentes no caucho, provocando acidez.
- **Coagulación por sales.** Al adicionar sales al látex, como nitrato o cloruro de calcio, cloruro o sulfato de magnesio y alumbre, ocurre una descarga de las partículas de caucho, ya que estas adsorben el catión de la sal, produciendo floculación⁶. La influencia del anión de la sal coagulante es casi insignificante.
- **Coagulación por alcoholes.** Los alcoholes tienen una acción sobre la solvatación del látex, debido a que son deshidratantes energéticos. Es necesario adicionar cantidades suficientes de alcohol para que ocurra la acción coagulante, y esta a su vez depende de la concentración de caucho en el látex.
- **Coagulación por agitación mecánica.** Por medio de una agitación enérgica y prolongada se produce un aumento de la energía cinética media de las partículas, la cual, permite vencer la repulsión eléctrica entre ellas y la inercia de la capa de hidratación, conduciendo a la coagulación. Se puede acelerar la coagulación adicionando óxido de zinc, para disminuir la estabilidad del látex.
- **Coagulación por frío o por calor.** Al someter el látex a una temperatura de – 15°C durante 15 días, y luego dejarlo adquirir nuevamente la temperatura ambiente, este se coagula, porque el frío absorbe el sistema agua-prótidos. Otro procedimiento consiste en elevar la temperatura a 110 - 120°C, ya que el calor acelera la acción de los agentes de coagulación.
- **Coagulación por ácidos.** Se efectúa por medio de la adición de ácido al látex para obtener un coágulo coherente. El ácido conduce a un descenso del pH, alcanzando así el punto isoelectrónico, donde la carga eléctrica es nula, y por

⁶ Las partículas se unen parcialmente conduciendo a la formación de copos.

consiguiente hay supresión de la repulsión electroestática y coagulación. Debido a que la velocidad de coagulación es lenta, la adición brusca de ácido puede alcanzar el punto isoelectrónico rápidamente sin que esta haya ocurrido.

Por este tipo de coagulación se obtiene un mejor caucho, mediante la acidificación del látex, ya sea con ácido acético o fórmico, hasta un pH óptimo de 5 - 5,3.

Se obtiene un mayor y mejor coágulo cuando se efectúa la dilución del látex al 15% y se acidifica con 1,5 ml de ácido acético por 2 litros de mezcla agua – látex [9]. Esta cantidad de ácido depende de la edad y del clon de los árboles, de la concentración de caucho seco en el látex, y de la cantidad de preservante que se haya agregado al látex fresco.

El tipo y la cantidad de ácido utilizado, condicionará las operaciones de laminado y secado, así como la eliminación de impurezas, debido a la estructura fisicoquímica del coágulo obtenido. Un exceso de ácido puede resultar en un coágulo más duro y difícil de laminar.

Algunos de los parámetros que permite establecer si la cantidad de ácido adicionado es suficiente, son:

- La apariencia del suero que queda en los tanques, esta debe ser clara.
- La consistencia del coágulo, este debe ser gelatinoso después de 2 horas de adicionar el ácido.

Además del coágulo de caucho se obtiene un suero ligeramente ácido y rico en materia orgánica, el cual se neutraliza con cal para ser utilizado como agua de riego de los sembradíos.

2.4 Laminación o Trituración

El coágulo puede ser laminado o triturado según el tipo y la presentación de caucho que se desee. Esta etapa tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad de impurezas y reducir la humedad del caucho, además de convertir las placas de coágulos en hojas o migas de caucho respectivamente.

Dependiendo del tipo de caucho que se desea obtener, en esta etapa el coágulo es laminado o triturado, caso contrario de las etapas del proceso hasta ahora descritas.

- **Hojas de Caucho (ADS, RSS).** Se les realiza un proceso de laminado, el cual reduce la humedad del coágulo del 60 al 30%. Consiste en pasar la placa de coagulo entre pares de rodillos girando a la misma velocidad, provistos de rociadores de agua (para el lavado del caucho) y dispuestos para ofrecer en forma progresiva una separación cada vez menor. Existe una alternativa de baterías de laminadores que procesan de 300 a 400 Kg. de caucho por hora con potencias correspondientes alrededor de 3 a 9 KW.

A medida que va ocurriendo el proceso de laminación, las láminas son lavadas y transportadas en canales con agua, para extraer de ellas todo el suero que sea posible remover, y así evitar un caucho pegajoso y con facilidad al ataque biológico (no se enmohezca tan pronto).

El espesor de la lámina final determina el tiempo requerido para su secado [5]. Se recomiendan láminas de 2 a 4 mm. de espesor.

- **Caucho Crepe.** Se fabrican láminas corrugadas haciendo pasar sucesivamente el coágulo por varios crepadores, los cuales estiran y desgarran el caucho. Estas maquinas de rizado están constituidas en esencia por dos cilindros paralelos que, a diferencia de los rodillos utilizados en la preparación de hojas,

giran a velocidades diferentes, llevan en su superficie estrías o canaladuras y están sujetos a un rociado abundante de agua. Estas modificaciones producen una acción de cortadura y masticación, haciendo que cuando el caucho húmedo pase a través de los rodillos se expongan nuevas capas a la acción del agua.

- **Hevea Crumb⁷**. Las placas de coágulo se convierten en migas de caucho, por la acción de trituración sobre el coágulo a su paso por varias crepadoras como las descritas en el caucho crepe. El caucho antes de su paso por los rodillos crepadores, debe contener una pequeña cantidad de agente desmigajante como aceite de ricino, para garantizar la formación de migas. Es factible adicionar el agente desmigajante antes de la coagulación del látex.

El caucho en forma de migas, facilita su lavado para la remoción de impurezas y su secado, debido al aumento de su superficie de contacto. Cuando se tengan migas de aproximadamente ½ pulgada de diámetro, estas se pasan al proceso de secado.

2.5 Secado

El secado tiene como objetivo reducir el contenido de humedad presente en el caucho hasta aproximadamente un 0,5%, utilizando diferentes fuentes de energía según el tipo de caucho que se desea obtener.

Las láminas son lavadas, cortadas y colgadas en bastidores para que escurran durante 2 horas en lugares abiertos pero cubiertos del sol, luego son sometidas al respectivo proceso de secado.

⁷ Nuevo tipo de caucho natural de alta calidad, presentado en forma de migas, con propiedades tecnológicas altamente satisfactorias y ventajas significativas en su procesamiento [5]. Puede clasificar como un tipo de TSR, tras efectuar las pruebas respectivas.

- **Hojas de Caucho Ahumadas.** Cuando las láminas están secas en la superficie, se pasan al ahumador donde se secan suspendiéndolas de 2 a 4 días en una atmósfera de humo producido por la combustión lenta de madera; a una temperatura de 45 a 60°C. Básicamente, existen dos tipos de ahumadores, las casetas y cámaras de humo.

El secado ahumado tiene por objeto impregnar el caucho de sustancias creosotadas que desempeñan el papel de antioxidantes y antisépticos, que le proporcionan al caucho un color matiz ambarino oscuro.

- **Caucho Crepe.** El proceso de secado se lleva a cabo en un periodo de 5 a 6 días, a una temperatura de 40 a 45°C y en casetas de uno o dos pisos similares a las utilizadas con las laminas ahumadas, con la diferencia de que no se utiliza el humo como fuente de calor sino que se introduce aire caliente por el fondo mediante tubos para lograr una distribución uniforme del aire dentro de la caseta.

El aire caliente es suministrado por un calentador alimentado de combustible diesel, cuya chimenea puede pasar por el centro de la caseta para aprovechar el calor de los gases de combustión.

También, el caucho crepe se puede secar sin ningún tipo de calefacción artificial, pero el tiempo de secado sería tres veces mayor. A su vez, el techo y las paredes de la caseta deben construirse con láminas galvanizadas y pintarse de color negro para absorber el calor del sol, se requieren ventanillas ajustables al pie de las paredes y en el techo, para regular la ventilación que debe ser suficientemente suave para conservar el calor a la vez que permite la salida del aire húmedo.

- **Hojas Secadas al Aire.** Este tipo de caucho generalmente se seca en cobertizos de zinc, con la circulación directa de aire atmosférico, durante 8 a 15

días según el clima predominante en la zona. Por medio de esta forma de secado las láminas obtenidas tienen un 5% de humedad y no presentan uniformidad en el color, además, la dependencia directa con clima no garantiza una producción constante.

- **Hevea Crumb.** Las migas de caucho se pueden secar en bandejas de secado, en un horno batch, o un secador de túnel que se adapta fácilmente a un sistema de transporte; estas se envía a través de un secador, para ser secadas y deshumificadas por el soplado de aire caliente.

La mayoría de los secadores se dividen en cuatro secciones [11]:

- *Sección 1:* Se aumenta lentamente la temperatura del caucho, para que su humedad se difunda a la superficie.
- *Sección 2:* Ésta es el área dónde la temperatura es más alta, para que caucho se caliente y seque completamente, tanto en su superficie como en su interior.
- *Sección 3:* La temperatura es reducida en esta área. El caucho se deja secar en esta sección para garantizar su calentamiento uniforme, pero sin quemarlo.
- *Sección 4:* En esta área quita el olor y humedad del caucho. Éste es el último paso en el proceso de secado.

Los principios de diseño para los secadores de caucho desmigajado generalmente son los mismos, sólo difieren en detalles menores, como:

- El volumen (el peso) o espesor de caucho en las bandejas del secador.
- El calor que circula en cada sección
- El diseño de ventilación del secador, sistema de transferencia de calor o de enfriamiento.
- La alimentación del caucho al secador.

Los secadores de túnel son máquinas automáticas diseñadas especialmente para el secado de caucho desmigajado. Su capacidad va de 500 a 5000 Kg DRC/h, y la mayoría de las industrias prefieren los secadores que utilizan quemadores de diesel.

2.6 Empacado

Las hojas de caucho seco, ya sean ADS, RSS o caucho crepe, se empacan en cruz conformando balas rectangulares de 113 Kg, de 50 cm de alto por 50 cm de ancho; estas se cubren con talco, para impedir que se peguen durante el transporte y/o almacenaje.

Las migas secas de caucho son comprimidas hidráulicamente a balas de medidas estándar: 79 cm de largo, 40 cm de ancho y 30 cm de espesor, con un peso de 33,3 Kg, envueltas y selladas en bolsas de polietileno. Actualmente es posible encontrar la presentación de paleta de 1200 Kg, que consiste en 36 balas, facilitando el manejo, transporte y la utilización del espacio de almacenamiento.

Dicha compresión se efectúa normalmente con una presión de 40 toneladas sobre el bloque, adquirida con una bomba capaz de producir 3000 psi. Los bultos de migas de caucho se dejan en la prensa unos 4 a 5 minutos para que adquieran su forma.

3. PROCESO DE CAUCHO SECO DE BAJA CALIDAD

En un nivel óptimo, la producción total de caucho seco debe alcanzar entre 75 y 85% de cauchos de mejor calidad y entre 15 y 25% de cauchos de baja calidad obtenidos a partir de scraps.

Debido a la composición heterogénea de la materia prima, los coágulos son dejados en agua para ablandarlos y remover la suciedad de la superficie, y si se

desea aclarar su color se recomienda dejarlos en remojo en una solución diluida de bisulfito de sodio.

Después del lavado de los scraps, estos son laminados a hojas crepe o triturados a migas según la presentación de caucho deseada. Este proceso al igual que el empacado se realiza de la misma forma como se describe en el proceso húmedo del caucho seco. Sin embargo, después del triturado se recomienda realizar un lavado de las migas de caucho sobre un cedazo vibratorio, con el fin de eliminar la mayor cantidad de impurezas.

ANEXO G. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE CULTIVO

Con algunas excepciones, el árbol de caucho se cultiva en las tierras bajas tropicales, entre 0 y 1.200 metros sobre el nivel del mar, entre los 10 grados norte y 10 grados sur, siendo las áreas más productivas las que están ubicadas a 6 grados o menos del ecuador [32].

Para tener buenos resultados en la producción la cantidad de días lluviosos debe estar entre 100 y 150 al año, un número mayor dificulta explotar la plantación, la precipitación pluvial ideal está entre 1.500 y 2.500 mm anuales [32].

La humedad relativa debe oscilar entre un 60% y un 80%; la temperatura media anual está en el rango de 23 a 30 grados centígrados, con un óptimo de 25 grados, se puede sembrar a temperaturas menores como resultado de una mayor altitud, en estos casos la producción del látex no se altera, sin embargo, el desarrollo de los árboles es más lento, lo que demora el inicio de la sangría. Adicionalmente, las zonas de cultivo deben contar con más de 1.500 horas de sol por año y vientos máximos de 50 Km./hora [4,32].

En cuanto a las condiciones del suelo, el caucho puede desarrollarse en suelos que varíen en su reacción química desde muy ácida (pH 4) hasta ligeramente alcalina (pH 7,5) con un rango óptimo entre 4,5 y 6. El árbol de caucho es menos exigente en suelos que otros cultivos permanentes o semipermanentes, como el cacao, café y plátano.

ANEXO H. EXPLOTACIÓN DE LOS ÁRBOLES DE CAUCHO

Su explotación consiste en la recolección periódica de pequeñas cantidades de látex mediante sangrías sucesivas. El árbol de caucho se comienza a explotar cuando el tronco alcanza un mínimo de 45 cm de circunferencia a una altura de 1 – 1,2 metros del suelo y un espesor de corteza de 6 mm, o después de 5 a 7 años de la siembra con buen manejo [1, 5].

Un árbol muy joven no debe sangrarse porque la corteza es delgada y se hiere fácilmente el cambium, además, si el tronco está muy delgado se compromete la producción futura del árbol [1]. La explotación de látex debe realizarse adecuadamente de manera que se regenere la corteza del tronco en excelentes condiciones y pueda hacerse durante 30 años [5].

El látex de un árbol sangrado por primera vez es viscoso y amarillento y se coagula rápidamente, por esto la producción de las primeras sangrías es mínima; después de 10 a 15 años el látex fluye fácilmente [1].

1. EXPLOTACIÓN INICIAL

Para dar inicio a la explotación comercial de los árboles, se debe dar los siguientes pasos [1, 5].

Selección de los árboles aptos para la producción.

Se miden los árboles con un metro y se marcan a 1,5 m del suelo con una cruz en pintura visible aquellos que se ajustan a las medidas requeridas.

División del tronco en dos paneles de sangría.

Con una regla de madera de 2 m de largo y un raspador, se traza en cada tronco seleccionado dos líneas verticales opuestas diametralmente, de manera que quede dividido en dos parte iguales.

La primera línea generatriz debe quedar mirando hacia la calle, luego se toma una cuerda de 1,5 m de longitud a la cual se le hace un nudo en la mitad y se procede de la siguiente manera:

- Apoyar la cuerda en el tronco colocando el nudo sobre la línea trazada.
- Abrazar el árbol a un 1 m de altura con los extremos de la cuerda.
- En el extremo opuesto de la línea trazada, amarrar los extremos de la cuerda.
- Marcar con un punto el sitio de unión de la cuerda sobre el tallo.
- Repetir lo anterior pero a 50 cm de altura.

Después con la regla de madera se hacen coincidir los dos puntos y se traza la segunda generatriz. Luego las líneas verticales sirven como drenaje o canal de entrega del látex.

Trazado del Panel.

Se realiza con la ayuda de una banderola⁸, calcando ésta con el rayador sobre el tronco del árbol de la siguiente manera:

- Colocar la regla de madera de la banderola sobre la primera línea vertical.
- Rodear el tronco con la lámina.
- Marcar con el rayador las líneas, partiendo de la marca superior de derecha a izquierda, en sentido ascendente, hasta encontrar la generatriz opuesta.

Apertura del Panel

Se hace pasando varias veces el cuchillo de sangría (de acero templado) por encima de la línea que limita la altura del panel, desbastando suavemente la corteza, hasta llegar a los vasos laticíferos. Luego, con el cuchillo se hace un pequeño canal de 15 – 20 cm de largo para facilitar el escurrimiento del látex.

⁸ Consta de una lámina de aluminio o zinc liso pegada a una regla de madera de 1,2 m de longitud. La lámina tiene forma de romboide de 60 - 62,5 cm de base y 14 - 16 cm de anchura con tres ranuras transversales guías separadas 3,5 cm para el trazado del panel y una inclinación de 35° con relación a la horizontal.

2. EQUIPAMIENTO DEL ÁRBOL [1, 5]

Canalete

Construido con una lámina de zinc lisa de 5 x 2 o 6 x 3 cm, se coloca inclinada a 30° a 15 –20 cm por debajo del extremo inferior del canal de escurrimiento del látex. Debe tener una parte aguda que se incrusta en la corteza del árbol, sin llegar a la madera.

Taza de Recolección

Pueden ser de aluminio, plásticas o de barro cocido y con una capacidad mínima de 500 cm³. No interesa su forma.

Soporte de Alambre

Sostiene la taza de recolección. Consta de un collar liso, de alambre galvanizado N° 16 de un metro de longitud, situado 15 cm por debajo del canaleta, el cual se enrolla al tronco formando a un lado un resorte para que vaya cediendo a medida que engruesa el tallo y de un soporte para la taza, de alambre galvanizado N° 10 de diámetro de acuerdo a la circunferencia de la taza.

3. SANGRÍA O PICA

El escurrimiento del látex tiene lugar gracias a la presión interna dentro de los vasos laticíferos, la que disminuye con el tiempo siendo nula después de 3 a 4 horas, coagulándose las partículas del látex sobre la incisión.

Una adecuada explotación de la plantación es la resultante de un sistema de sangría y un plan de estimulación, esta última tiene por objeto prolongar el flujo de látex después de la sangría, al evitar la rápida coagulación de éste sobre la incisión taponando los vasos laticíferos, para esto se unta mensualmente sobre la incisión una solución de ethrel [1].

El sistema de sangría en espiral consiste en quitar sistemáticamente la corteza de la superficie del tronco de medio a un milímetro a partir de la primera incisión,

estos cortes son hechos tan delgadamente que las peladuras de los cortes anteriores son removidas. Este sistema presenta diferentes longitudes de incisión: espiral entera, semiespiral, un tercio de espiral o un cuarto de espiral. Entre los más usuales están: una incisión sobre la media circunferencia del árbol con un intervalo de dos días (un día de sangría y otro de descanso), o sobre toda la circunferencia cada cuarto día. Según el tipo de espiral seleccionado, se forman diferentes números de secciones o paneles en el árbol. Un panel de corteza es elegido y removido lentamente del árbol y cuando casi se ha alcanzado el piso, un nuevo panel en otra porción del árbol es iniciado. De esta manera el panel original sana permitiendo que la nueva corteza se forme [1, 8].

Cada sistema se adaptará teniendo en cuenta que la plantación no pierda sus propiedades físicas, aunque en algunos casos se puede aplicar por emergencia como escasez de mano de obra, del producto terminado en el mercado y por el alto costo del caucho.

El sistema de media espiral en un ciclo de cada dos días es el más adecuado para plantaciones jóvenes, mientras que los sistemas de tres cuartos de espiral con un ciclo de tres días y espiral completa con un ciclo de cuatro días, han mostrado resultados contraproducentes en nuestro medio, ya que reducen los costos de explotación pero retardan la formación de corteza, provoca malas formaciones en el panel de sangría y prolifera el ataque de hongos [5].

ANEXO I. MEMORIAS DE CÁLCULO

A continuación se presentan las ecuaciones, los criterios y parámetros utilizados en el diseño de los tanques agitados y de sedimentación, la torre de deserción de amoniaco y el tanque de burbujeo. Se enseñan las ecuaciones necesarias para el diseño del secador solar sin obtener resultados, puesto que falta desarrollo experimental para la determinación de la cinética de secado del caucho natural.

El diseño de los equipos tales como, la laminadora manual, canoas de coagulación, crepadoras, centrifugas, prensa y los que conforman la línea del proceso seco, se limito únicamente a su selección con base en los utilizados por industria del caucho natural, los requerimientos del proceso y lo ofrecido en el mercado, puesto que son equipos de uso específico cuyo diseño ya se encuentra establecido.

1. SECADOR SOLAR

Para realizar el diseño del secador solar, se requiere conocer las curvas de secado y equilibrio de humedad del caucho natural, su calor latente de vaporización y calor específico. Por lo tanto para realizar su diseño se requiere inicialmente un desarrollo experimental, para luego determinar el área del colector y el flujo de aire requerido.

Los colectores solares planos consisten en superficies negras en forma de láminas o placas que absorben radiación directa como difusa. Se usan cubiertas transparentes y aislantes con el objeto de reducir o controlar las pérdidas de energía en el colector. Funcionan como un gran ducto de circulación inducida de aire del ambiente para aumentar su temperatura con la energía solar.

Características del Colector Plano [27]:

- Presentan una posición fija.
- Con el fin de obtener la máxima captación de radiación solar directa, debe estar orientado con su eje longitudinal coincidiendo con la línea este-oeste y el ángulo de incidencia debe ser aproximadamente perpendicular al plano de la orbita del sol. Se sugiere una inclinación de más o menos 10 grados.
- Las perdidas térmicas de importancia se presentan por convección, perdiéndose muy poca radiación.
- Para su fabricación no existe grandes restricciones que se refieran al tipo y calidad de los materiales de construcción.

Para el diseño se hace un balance de calor al colector. Para el cálculo del coeficiente global de pérdidas de calor, el sistema se esquematiza como una malla de resistencias [27], resultando:

1. Coeficiente global de perdidas de calor: $U = \frac{1}{R_c} + U_b$

donde U_b es el coeficiente de perdidas de calor a través del aislamiento

2. Resistencia total: $R_c = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2} + \frac{1}{1/R_3 + 1/R_4}$

donde:

R1: Resistencia a la conducción-convección natural

$$R_1 = \frac{1}{1,263 + 0,3476\phi(T_1 - T_2)^{1/4}}$$

ϕ : ángulo de inclinación del colector (Rad)
T1: temperatura media de la capa absorbadora (K)
T2: temperatura de la cubierta (K)

R2: Resistencia de la radiación entre la placa colectora y la cubierta.

$$R_2 = \frac{1/E_1 + 1/E_2 - 1}{\sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}$$

σ : constante de Stefan Boltzman
E1: emisividad de la placa absorbente
E2: emisividad de la cubierta

R3: Resistencia a la convección cubierta-alrededores

$$R3 = \frac{1}{5,68} + 1,2v \quad v : \text{velocidad del aire (Km/h)}$$

R4: Resistencia a la radiación

$$R4 = \frac{1}{E2\sigma(T2^2 + T3^2)(T2 + T3)} \quad T3: \text{temperatura del ambiente}$$

3. Energía captada por la capa colectora (W/m^2): $Q = I(\tau\alpha) - U(T1 - T3)$

donde I es la radiación solar incidente y $(\tau\alpha)$ es el factor de transmisibilidad-absortibilidad de la cubierta.

4. Caudal de aire: $q_{aire} = A_{ea}v$ donde A_{ea} es el área transversal del colector.

Se debe conocer la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa del aire a utilizar para determinar la humedad en base húmeda, a partir de la curva de humedad de equilibrio del caucho natural. Esta humedad se compara con la que se desea alcanzar (3 a 5%) para establecer las condiciones de entrada del aire a la cámara de secado.

Con los datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire a la entrada y salida del colector, se lee en la carta psicrométrica (sistema aire-agua) las humedades absolutas y se calculan los volúmenes específicos y las entalpías del aire para finalmente calcular el área del colector.

5. Entalpía del aire: $h = (1005 + 1884Y')(Tg - To) + \lambda_{To}Y'$

6. Volumen específico: $V' = \left(\frac{1}{M_{aire}} + \frac{Y'}{M_{agua}} \right) \frac{RTg}{P}$

7. Área del colector:
$$A = \frac{q_{aire}(h_2 - h_1)}{QV'}$$

Las cámaras de secado deben estar equipadas con sostenes de madera en los cuales se cuelgan las láminas. Con un balance de energía, se determina la cantidad de caucho que se puede secar con el aire procedente del colector y con la masa promedio de una lámina se estima el número de láminas a secar y así establecer las dimensiones de la cámara de secado teniendo en cuenta las separaciones entre los sostenes.

8. Balance de energía al caucho:
$$QA = h_{fg} w(H_i - H_f)$$

Donde QA es el calor absorbido por el aire, h_{fg} es el calor latente de vaporización del agua, w es la masa de caucho seco, H_i y H_f es la humedad inicial y final respectivamente del caucho en base humedad.

2. TANQUES AGITADOS

Estos son de forma cilíndrica y se diseñan teniendo en cuenta el volumen de látex o suero a tratar. Con la heurística se establece un 10% de espacio libre en los tanques, ya que su capacidad es superior a 500 galones (1,89m³).

Establecido el volumen total del tanque, se calcula su diámetro y altura usando la relación de altura/diámetro de 1,5.

1. Volumen total del tanque:
$$V = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi D^2}{4} * 1,5D$$

Los agitadores se establecieron del tipo turbina de hoja plana, con una potencia de 3 hp y con diámetro de 0,6 veces el del tanque. En la figura de las correlaciones de potencia para diferentes impulsores y para el flujo, se lee el número de potencia (N_p) y se calcula la velocidad de rotación, teniendo en cuenta las propiedades de viscosidad y densidad del fluido [26].

3. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Para facilitar la remoción de los sedimentos, se propone el diseño de un tanque rectangular, inclinado y con dos desagües (una para el látex y otra para los lodos).

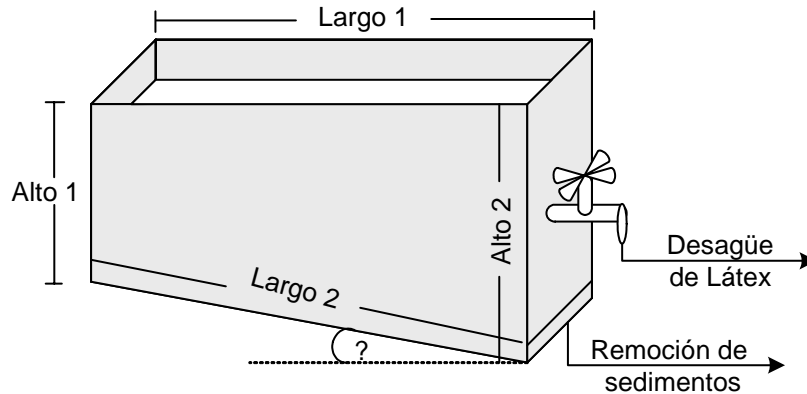


Figura 1. Representación del tanque de sedimentación

Asumiendo un ancho de 1,5 m, que el largo y la altura 1 son respectivamente 3 y 0,5 veces el ancho y una inclinación de 10 grados, se calculan las dimensiones del tanque y su volumen con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Alto } 2 = \text{Alto } 1 + \text{Largo } 1 * \text{Tan } \theta$$

$$\text{Largo } 2 = \frac{\text{Largo } 1}{\text{Cos } \theta}$$

$$\text{Volumen} = (\text{Ancho} * \text{Largo } 1 * \text{Alto } 1) + (0,5 * \text{Ancho} * (\text{Largo } 1)^2 * \text{Tan } \theta)$$

4. TORRE DE DESORCIÓN DE AMONIACO

La extracción de amoníaco por arrastre con aire depende altamente de la temperatura del aire y de la razón aire/agua. La eficiencia se reduce significativamente a medida que disminuye la temperatura del aire. A 20°C se tiene una eficiencia de remoción del amoníaco del 90 al 95%, mientras que a 10°C la eficiencia disminuye al 75% [12].

La torre se establece isotérmica, empacada con anillos Pall de polietileno y de 25 mm de tamaño nominal, que opera a presión atmosférica, con flujo a contracorriente, que utiliza aire a temperatura ambiente (25°C) y con una eficiencia de remoción de amoníaco del 90%.

Las soluciones de amoníaco – agua a temperatura ambiente, siguen la Ley de Henry hasta una concentración del 5% en mol de amoníaco, con una pendiente del 1,414 [25].

Se determinan las corrientes de operación, como se muestra en la figura 1, a partir de conversión de los flujos y fracciones másicas a molares.

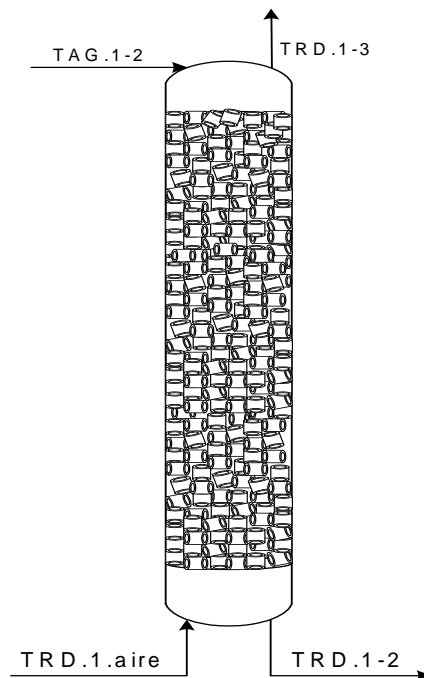


Figura 2. Corrientes de la Torre de Desorción.

Por la poca cantidad de amoníaco contenida en el suero, los flujos de líquido y gas no difieren considerablemente entre la entrada y salida, por lo que para efectos de calculo se trabaja con el promedio entre la entrada y salida de líquido y gas.

Con la línea de operación de la torre, que se obtiene a partir de la mínima relación entre el flujo de aire y el flujo de suero $(G_s/L_s)_{\min}$ (correspondiente a la máxima transferencia de masa posible) y fijando un factor de seguridad de 1,5 (figura 2), se calcula el flujo de aire requerido.

1. Balance de masa de NH_3 en estado estable: $G_s Y_1 + L_s X_1 = G_s Y_2 + L_s X_2$

2. Fracción libre de inertes: $Y_i = \frac{y_i}{1 - y_i}$ $X_i = \frac{x_i}{1 - x_i}$

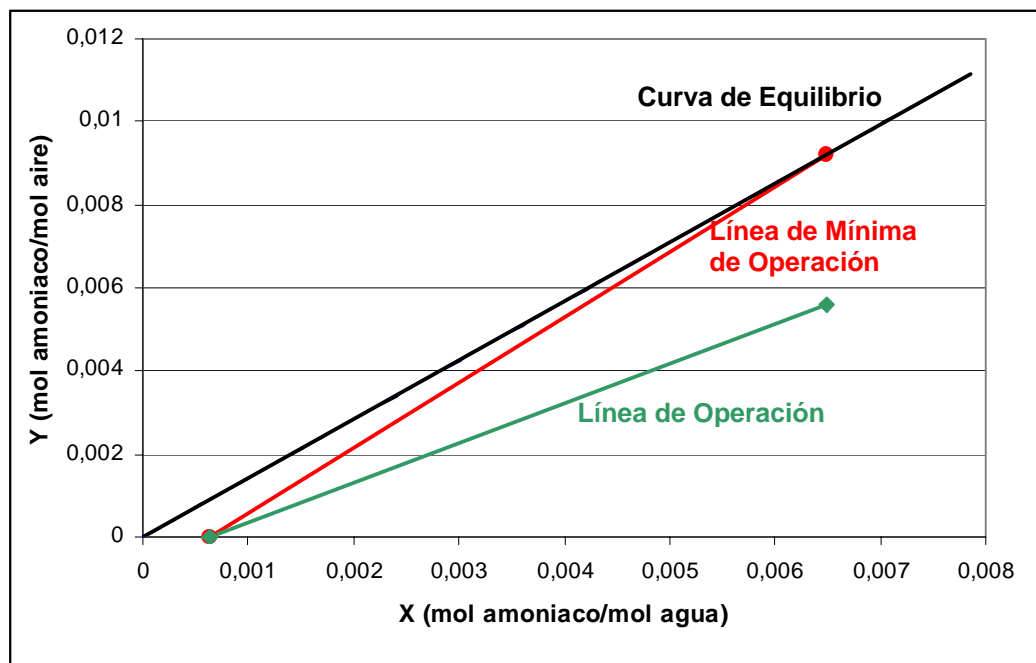


Figura 3. Curva de Equilibrio y Línea de Operación.

El diámetro de la torre se calcula a partir de la velocidad superficial de masa del aire, utilizando la gráfica de inundación y caída de presión en torres empacadas al azar (coordenadas de Eckert) [25] y escogiendo un factor de seguridad de 0,4, para impedir la inundación de la torre.

$$G'_{\text{Operación}} = 0,4 * G'_{\text{inundación}} = \frac{\text{Flujo de aire}}{\text{Area transversal torre}}$$

Se obtienen los coeficientes de transferencia de masa y el área interfacial, utilizando las correlaciones de Onda (3, 4 y 5). Luego, se calculan los coeficientes de transferencia de masa globales y se determina la fase que ofrece mayor resistencia.

3. Coeficiente de transferencia de masa de la fase gaseosa, $k_G [=] \frac{mol}{m^2 s(N/m^2)}$:

$$k_G = C_1 \left(\frac{G_V}{a_V \mu_V} \right)^{0.7} \left(\frac{\mu_V}{\rho_V D_V} \right)^{1/3} (a_V D_p)^{-2} \left(\frac{a_V D_V}{RT} \right)$$

4. Coeficiente de transferencia de masa de la fase líquida, $k_L [=] \frac{mol}{m^2 s(mol/m^3)}$:

$$k_L = 0.0051 \left(\frac{G_L}{a_W \mu_L} \right)^{2/3} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{-1/2} (a_V D_p)^{0.4} \left(\frac{\mu_L g}{\rho_L} \right)^{1/3}$$

5. Área interfacial, $a_w [=] \frac{m^2}{m^3}$:

$$\frac{a_w}{a_v} = 1 - \exp \left(-1.45 \left(\frac{\sigma_c}{\sigma} \right)^{0.75} \left(\frac{G_L}{a_V \mu_L} \right)^{0.1} \left(\frac{G_L^2 a_V}{\rho_L^2 g} \right)^{-0.05} \left(\frac{G_L^2}{\rho_L \alpha_V} \right)^{0.2} \right)$$

6. Coeficientes de transferencia de masa globales de la fase gaseosa y líquida:

$$\frac{1}{K_{OY}} = \frac{1}{k_Y} + \frac{m}{k_x} \qquad \frac{1}{K_{OX}} = \frac{1}{m k_Y} + \frac{1}{k_x}$$

Donde: $k_y = P * k_G = 101325 * k_G$ y $k_x = C * k_L = \frac{\rho_L}{M_L} * k_L$

7. Resistencias ofrecida por la fase líquida y gaseosa:

$$\frac{\text{Re sistencia del gas}}{\text{Re sistencia total}} = \frac{1/k_y}{1/K_{OY}} \qquad \frac{\text{Re sistencia del liquido}}{\text{Re sistencia total}} = \frac{1/k_x}{1/K_{OX}}$$

Se presenta una mayor resistencia por la fase líquida, por tanto, con base en esta se prosiguen los cálculos para la altura unitaria y el número de unidades de transferencia de masa global, utilizando las ecuaciones para las soluciones diluidas que siguen la ley de Henry [25]. Finalmente, se determina la altura de la

sección empacada y teniendo en cuenta los espacios vacíos en el fondo y tope de la torre, se calcula su altura total.

8. Altura de la sección empacada: $z = N_{iOL} \bar{H}_{iOL}$

9. Número de unidades de transferencia de masa global:

$$N_{iOL} = \frac{\ln \left[\frac{x_2 - y_1/m}{x_1 - y_1/m} (1-A) + A \right]}{1-A} \quad \text{donde A es el factor de Absorción.}$$

10. Altura de una unidad global: $H_{iOG} = \left(\frac{G}{K_{OY} a_w (1-y)_{*M}} \right)$

Esta se calcula en el fondo y tope de la torre, para luego hacer un promedio de aritmético.

11. Los espaciamientos libres en el tope y fondo de la torre: $L = 1,2 \bar{H}_{iOG}$

12. La altura total de la torre: $Z = z + 2L$

La caída de presión a través de la torre, tiene en cuenta las caídas de presión a través del empaque y por las contracciones y expansiones a la entrada y salida de la torre.

$$\Delta P_{total} = z \left(\frac{\Delta P}{z} \right) + 1,5 \frac{v_{gas}^2}{2} \rho_{gas} = z \left(\frac{\Delta P}{z} \right) + 1,5 \frac{G^2}{2 \rho_{gas}}$$

Donde el $(\Delta P/z)$ se calcula utilizando la gráfica de Eckert [25] y el factor 1,5 corresponde a la suma de los coeficientes de expansión y contracción para bordes rectos.

Las propiedades físicas del flujo del aire se estimaron utilizando el simulador HYSYS, mientras que densidad y la viscosidad para el suero, se obtienen de los datos reportados de los estudios realizados por Rhodes [2].

La difusividad del gas se calcula con la ecuación modificación de Wilke-Lee del método Hirschfelder-Bird-Spotz para mezclas de gases no polares con uno no polar y la difusividad del líquido se calcula utilizando la correlación empírica de Wilke y Chang para soluciones diluidas de no electrolitos [25].

5. TANQUE DE BURBUJEO

El tanque consta de una tubería con orificios por donde ingresa la corriente de aire – amoniaco en forma de pequeñas burbujas para ser introducidas en el agua y formar la solución de amoniaco al 25%.

El diseño del equipo se basa en el principio de absorción de la burbuja del gas ascendente en el seno del líquido. Para esto es calcula la velocidad media de transferencia del amoniaco, con la siguiente ecuación [33]:

$$(N_A)_{med} = \sqrt{\frac{4D_{AB}}{\pi t_{exp}}} c_{Ao} \quad \text{donde} \quad t_{exp} = \frac{d_p}{V_t}$$

c_{Ao} : es la solubilidad del amoniaco en el agua.

D_{AB} : es la difusividad del amoniaco en el agua.

t_{exp} : es el tiempo que requiere el liquido para deslizarse a través de una burbuja.

d_p : diámetro de la burbuja.

V_t : velocidad final o limite de la burbuja ascendente.

Para calcular el diámetro de la burbuja y su velocidad terminal, se tiene en cuenta que la única turbulencia en el agua es la generada por las burbujas y que los orificios son horizontales y están lo suficientemente separados para que las burbujas no interfieran entre si.

Como el tamaño de las partículas depende de la rapidez de flujo a través de los orificios, el diámetro de los orificios, de las propiedades del fluido y de la extensión de turbulencia que prevalece en el líquido, se calcula el número de Reynolds para establecer que tipo de flujo de gas predomina.

A partir de la heurística se establece un diámetro de orificio (d_o) 3 mm y un número de orificios igual a 67 separados entre si $3d_p$ [23].

1. Numero de Reynolds:
$$Re_o = \frac{d_o V_o \rho_G}{\mu_G} = \frac{4w_o}{\pi d_o \mu_G}$$

donde V_o y w_o representan la velocidad y flujo masico del gas a traves del orificio respectivamente.

2. Diámetro de la burbuja:
$$d_p = 0,0071 Re_o^{-0,05}$$

Esta correlación se utiliza cuando se trabaja con flujos grandes de gas.

3. Velocidad Terminal:
$$V_t = \sqrt{\frac{2\sigma}{d_p \rho_L} + \frac{gd_p}{2}}$$

Correspondiente para diámetros de burbuja entre 1,4 y 6 mm.

Se calcula la altura del líquido requerida para obtener la solución de amoniaco del 25%, teniendo en cuenta la retención del gas y el área interfacial específica. Se establece un diámetro del tanque de 0,6 m y se calcula la velocidad del gas para leer en la gráfica de velocidad de deslizamiento (V_s), tanques de burbujeo la retención del gas [23].

4. Retención del gas, cuando la velocidad del liquido es cero:
$$\varphi = \frac{V_G}{V_s}$$

5. Área interfacial específica:
$$a = \frac{6\varphi}{d_p}$$
 Donde φ representa la fracción en

volumen de la mezcla gas – líquido en el tanque que está ocupada por el gas.

6. Altura de líquido:
$$H = \frac{\text{Flujo de gas absorbido}}{N_A a A_{\text{tanque}}}$$

ANEXO J. HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA LA LAMINADORA L1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Laminadora Manual

Cantidad: 1

Servicio: Reducir el espesor, la humedad e impurezas del coágulo de caucho entrante

Costo Unitario: \$ 2.500.00

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
<i>Designación al caucho:</i>	Coágulo	Lámina
<i>Espesor (mm):</i>	50	3
<i>Humedad (%):</i>	60	30

3. PARAMETROS DE DISEÑO [1, 4]

Descripción: Consiste en dos rodillos lisos empotrados en dos soportes, con dos tornillos mariposa que permiten graduar la abertura entre los rodillos y una polea para operarla manualmente. Los rodillos giran en sentido opuesto.

<i>Diámetro de los rodillos (cm):</i>	10
<i>Largo de los rodillos (cm):</i>	60
<i>Material de los rodillos:</i>	Hierro cromado
<i>Apertura máxima entre los rodillos (mm):</i>	12
<i>Material de los soportes:</i>	Acero estructural

ANEXO K. EQUIPOS PARA LA PLANTA MEDIANA

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE TH1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de homogenización del látex

Cantidad: 1

Servicio: En él se deposita todo el látex recolectado en un día de sangría, se lleva a cabo la homogenización, dilución y la acidificación.

Tipo de tanque: Agitado

Costo Unitario: US\$ 2.900

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Caudal de Látex (L/día):</i>	1500
<i>Caudal de Agua (L/día):</i>	406,241
<i>Caudal de Ácido Acético (ml/día):</i>	1125
<i>Temperatura de Entrada (°C):</i>	25
<i>Temperatura de Salida (°C):</i>	25
<i>pH de entrada:</i>	6 - 6,5
<i>pH de salida:</i>	5 - 5,3
<i>Densidad del Látex a la salida (Kg/m³):</i>	990,64
<i>Viscosidad (cp):</i>	4,1

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Diámetro (m):</i>	1,25
<i>Altura (m):</i>	1,85
<i>Capacidad (m³):</i>	2,27
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	1,94
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Vertical

<i>Tipo de Impulsor:</i>	Turbina de Hoja Plana
<i>Diámetro (m):</i>	0,75
<i>Velocidad de Rotación (s⁻¹):</i>	1,34
<i>Potencia (Hp):</i>	3
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TAMIZ TZ1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tamiz

Cantidad: 1

Servicio: Permite retirar las impurezas presentes en el látex recolectado, antes de ser transvasado en los tanques de homogeneización

Costo Unitario: US\$ 1.400

2. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Forma:</i>	Malla Circular
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable
<i>Diámetro (m):</i>	1
<i>Diámetro de Orificio (mm):</i>	3

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE TC1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de Coagulación del látex

Tipo de tanque: Canoa de Almacenamiento

Cantidad: 3

Servicio: Almacena el látex para mantenerlo en reposo y favorecer la formación de coágulos

Tiempo de Residencia: 4 horas

Costo Unitario: US\$ 1.600

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	
<i>Denominación:</i>	Látex	Coagulo	Suero
<i>Flujo (Kg/día):</i>	628	331,91	296,01
<i>Flujo aceite de ricino (Kg/día):</i>	1,14	1,14	-
<i>% DRC:</i>	25,00	46,51	0,85

3. PARAMETROS DE DISEÑO [3, 4, 8]

Descripción: Son canoas rectangulares y contienen tabiques o particiones dispuestos de una manera especial, de tal suerte que el coágulo puede formar una lámina continua. Estos compartimientos están sostenidos por un cuadro móvil que permite el descenso y elevación del conjunto

<i>Ancho (m):</i>	0,9
<i>Largo (m):</i>	3
<i>Alto (m):</i>	0,45
<i>Capacidad (m³):</i>	1,215
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	1,941
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Horizontal
<i>Numero de particiones:</i>	90
<i>Distancia entre las divisiones (cm):</i>	30

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA LA CREPADORA CP1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Crepadora

Cantidad: 3

Costo Unitario: US\$ 46.980

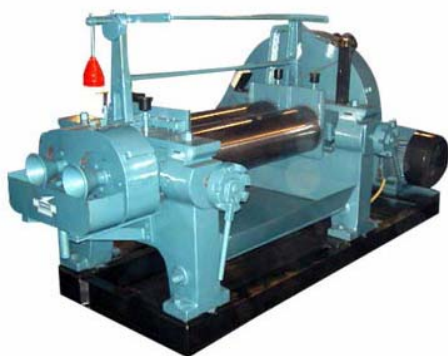
Servicio: Reduce de tamaño y limpia mediante el rocío de agua los coágulos de caucho y los scraps



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO PARA EL HEVEA CRUMB

	HEVEA CRUMB		HEVEA CRUMB 2	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
<i>Designación al caucho:</i>	Coágulo	Migas	Scraps	Migas
<i>Espesor (mm):</i>	50	-	-	-
<i>Tamaño (mm):</i>	-	12,7	-	12,7
<i>Humedad (%):</i>	60	10	30,07	10
<i>Flujo másico (Kg/día):</i>	1255,33	531,75	66,43	51,16
<i>%DRC:</i>	46,51	87,10	65,2	84,67
<i>% Humedad:</i>	49,65	8,00	30,07	10,00

3. PARAMETROS DE DISEÑO [28, 36]



Descripción: Consiste en dos rodillos de superficie acanalada, girando en dirección opuesta y con diferente velocidad, en donde el caucho se adhiere mejor para genera presión y así facilitar su rompimiento. Constan de una tubería perforada por donde circula agua que lava el caucho y enfría los rodillos calentados por la fricción

<i>Diámetro de los rodillos (cm):</i>	40.64
<i>Largo de los rodillos (cm):</i>	107
<i>Motor Eléctrico (HP/rpm):</i>	60 / 960
<i>Material de los rodillos:</i>	Hierro
<i>Velocidad:</i>	Hacia adelante 18.9 Hacia atrás 20.4
<i>Relación de Fricción</i>	1:1,18

HOJA DE ESPECIFICACIONES PARA EL SECADOR SC1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Secador Tipo Túnel de Canasta

Cantidad: 1

Tiempo de Residencia: 3 horas

Costo Unitario: US\$ 14.000

Servicio: Eliminar la humedad de las migas de caucho, usando aire precalentado



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

Temperatura del Aire a la entrada (°C): 28

Temperatura del Aire a la salida (°C): 125

	HEVEA CRUMB		HEVEA CRUMB 2	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
<i>Humedad del caucho (%):</i>	10	0,5	10	0,5
<i>% DRC del caucho:</i>	87,10	94,2	84,67	93,60
<i>Flujo másico (Kg/día):</i>	531,75	491,68	51,19	46,28

3. PARAMETROS DE DISEÑO [7, 36, 37]



Canastas

Descripción:

Conformado por una larga cámara por donde circulan cajones montados sobre ruedas que corren por rieles, cada uno de los cuales está constituido por 6 canastas secadoras con fondo perforado donde son colocadas las migas. Con un quemador de fuego directo, un ventilador, un conjunto de tubos para el calentamiento, y una campana de enfriamiento. Está totalmente provisto con los instrumentos automáticos de control para mantener el tiempo de secado, la temperatura y el flujo de aire.

<i>Largo del secador (m):</i>	16
<i>Material de las Canastas Secadoras:</i>	Aluminio
<i>Profundidad (cm):</i>	38
<i>Largo (cm):</i>	71
<i>Ancho (cm):</i>	35.5
<i>Combustible:</i>	Diesel

HOJA DE ESPECIFICACIONES PARA LA PRENSA PR1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Prensa Hidráulica de Empacado

Cantidad: 1

Costo Unitario: US\$ 6.000



Servicio: Compactar las migas secas de caucho en bloques de peso y dimensiones estándar.

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Presión (psi):</i>	1500
<i>Tiempo (s):</i>	30
<i>Peso de la Bala (Kg):</i>	33,3
<i>Dimensiones de la bala (cm):</i>	79 x 40 x 30

3. PARAMETROS DE DISEÑO [37]

Descripción: Se emplean dos cámaras gemelas que permiten presionar y cargar la bala simultáneamente para llevarla fuera y empaclarla. Cuenta con manómetros para controlar la presión.

<i>Funcionamiento:</i>	Automático
<i>Rendimiento:</i>	3 Ton DRC/h

**ANEXO L. EQUIPOS PARA LA PLANTA DE LÁTEX
CENTRIFUGADO**

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE THG.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de homogenización del látex

Cantidad: 6

Servicio: En él se deposita todo el látex recolectado en un día de sangría y se adicionando amoniaco en solución para su preservación

Tipo de tanque: Agitado

Costo Unitario: US\$ 5.600

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Caudal de Látex (L/día):</i>	3352,45
<i>Caudal de Solución de Amoniaco (ml/día):</i>	30.559,5
<i>Caudal de Salida (L/día):</i>	4055,67
<i>Temperatura (°C):</i>	25
<i>pH de salida:</i>	10
<i>Densidad del Látex (Kg/m³):</i>	981,21
<i>Viscosidad (cp):</i>	4,1

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Diámetro (m):</i>	1,5
<i>Altura (m):</i>	2,2
<i>Capacidad (m³):</i>	3,8
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	3,33
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Vertical

<i>Tipo de Impulsor:</i>	Turbina de Hoja Plana
<i>Diámetro (m):</i>	0,9
<i>Velocidad de Rotación (s⁻¹):</i>	1,02
<i>Potencia (Hp):</i>	3
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TAMIZ TZG.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tamiz

Cantidad: 6

Servicio: Permite retirar las impurezas presentes en el látex recolectado, antes de ser transvasado en los tanques de homogeneización

Costo Unitario: US\$ 1.400

2. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Forma:</i>	Malla Circular
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable
<i>Diámetro (m):</i>	1,3
<i>Diámetro de Orificio (mm):</i>	3

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE TSG.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de sedimentación

Cantidad: 3

Servicio: Se deja en reposo el látex normal homogenizado para favorecer la formación del complejo fosfato amónico magnesio y su posterior precipitación junto con otro material inorgánico insoluble fino

Tiempo de Residencia: 24 horas

Costo Unitario: US\$ 2.800

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Caudal de Entrada (L/día):</i>	6.759,44
<i>Flujo Másico de Sedimentos (Kg/día):</i>	9,95
<i>Caudal de Látex (L/día):</i>	6.749,69

3. PARAMETROS DE DISEÑO

Descripción: Tanque Inclinado con dos salidas, una inferior para remover los sedimentos y otra que permite la salida del látex, colocado sobre una base de concreto.

<i>Ancho (m):</i>	1,5
<i>Largo 1 (m):</i>	4,5
<i>Largo 2 (m):</i>	4,6
<i>Altura 1 (m):</i>	0,75
<i>Altura 2 (m):</i>	1,5
<i>Inclinación (en grados):</i>	10
<i>Capacidad (m³):</i>	7,74
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	6,67
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Horizontal

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA LA CENTRIFUGA CG.1

1. INFORMACION GENERAL:

Servicio: Concentrar el látex, eliminando el mayor contenido de constituyentes no caucho.

Cantidad: 3

Costo Unitario: US\$ 34.000



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	ENTRADA	SALIDA	
		Concentrado	Suero
<i>DRC (%)</i> :	30	60	8,40
<i>Flujo Másico Total (L/h)</i> :	843,71	369,44	467,71

3. PARAMETROS DE DISEÑO [2, 4]



<i>Diámetro (in):</i>	11,5
<i>Motor (KW):</i>	11
<i>Velocidad de rotación (rpm):</i>	8000
<i>Capacidad de Alimento (L/h):</i>	450
<i>Eficiencia (%):</i>	85
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Modelo:</i>	Alfa Laval. LRB510

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE THG.2

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de homogenización del látex concentrado

Cantidad: 3

Servicio: En él se deposita todo el látex concentrado en un día y se adiciona amoniaco en solución para su preservación final.

Tipo de tanque: Agitado

Costo Unitario: US\$ 5.600

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Caudal de Látex (L/día):</i>	3042,83
<i>Caudal de Solución de Amoniaco (L/día):</i>	91,83
<i>Caudal de Salida (L/día):</i>	3124,19
<i>Temperatura (°C):</i>	25
<i>pH de salida:</i>	10,3
<i>Densidad del Látex (Kg/m³):</i>	948,66
<i>Viscosidad (cp):</i>	40

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Diámetro (m):</i>	1,5
<i>Altura (m):</i>	2,2
<i>Capacidad (m³):</i>	3,8
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	3,1
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Vertical

<i>Tipo de Impulsor:</i>	Turbina de Hoja Plana
<i>Diámetro (m):</i>	0,9
<i>Velocidad de Rotación (s⁻¹):</i>	1,03
<i>Potencia (hp):</i>	3
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE TAG.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de Almacenamiento de Suero

Cantidad: 3

Servicio: Almacenar y ajustar el pH del suero producido durante la centrifugación del látex

Tipo de Tanque: Agitado

Costo Unitario: US\$ 5.930

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Caudal de Entrada del Suero (L/día):</i>	3.706,86
<i>pH de Salida:</i>	10,8 – 11,5
<i>Densidad del Suero (Kg/m³):</i>	1009,39
<i>Viscosidad (cp):</i>	2,5

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Diámetro (m):</i>	1,5
<i>Altura (m):</i>	2,3
<i>Capacidad (m³):</i>	4,2
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	3,71
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Vertical

<i>Tipo de Impulsor:</i>	Turbina de Hoja Plana
<i>Diámetro (m):</i>	0,91
<i>Velocidad de Rotación (s⁻¹):</i>	0,95
<i>Potencia (Hp):</i>	3
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable

HOJA DE ESPECIFICACION TORRE DE DESORCIÓN DE AMONIACO TRD.1

1. INFORMACIÓN GENERAL

Identificación: Torre Empacada de flujo en contracorriente

Cantidad: 1

Servicio: Remover y recuperar el amoniaco en solución presente en el suero resultante de la centrifugación del látex normal.

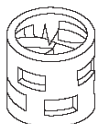
Costo unitario: US\$ 3.000

2. REQUERIMIENTOS DEL PROCESO

	SUERO		AIRE	
	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
<i>Flujo Másico total (Kg/día):</i>	11.225	11.163,67	18.831,31	18.892,64
<i>Composición (%amoniaco):</i>	0,61	0,061	0	0,326
<i>Densidad (Kg/m³):</i>	1009,36		1,183	
<i>Viscosidad (cp):</i>	2,5		1,88*10 ⁻²	
<i>pH:</i>	10,8 - 11,5	-	-	-

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Eficiencia (%):</i>	90
<i>Diámetro (m):</i>	0,44
<i>Altura Total (m):</i>	9,0
<i>Altura del Empaque:</i>	6,1
<i>Caída de Presión total (Pa):</i>	1.211,24
<i>Temperatura de operación (°C):</i>	25
<i>Consta de un soplador de aire</i>	



<i>Tipo de Empaque:</i>	Anillos Pall
<i>Material:</i>	Polietileno
<i>Tamaño Nominal (mm):</i>	25

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE DE BURBUJEO TB.

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de burbujeo

Cantidad: 1

Servicio: Absorber el amoniaco del aire proveniente de la torre de desorción para obtener solución de amoniaco al 25% y reintegrarla al proceso.

Costo Unitario: US\$ 5.000

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Flujo de Aire de Entrada (Kg/día):</i>	18.892,65
<i>Flujo de Aire de Salida (Kg/día):</i>	18.831,41
<i>mg NH₃/m³ Aire:</i>	6
<i>Flujo Solución de Amoniaco 25% (Kg/día):</i>	61,327

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Diámetro (m):</i>	0,6
<i>Altura (m):</i>	1,4
<i>Capacidad (m³):</i>	0,4
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	0,3
<i>Diámetro de los orificios (mm):</i>	3
<i>Número de orificios::</i>	66
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Vertical

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE TAG.2

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de Almacenamiento del suero

Tipo de tanque: Agitado

Cantidad: 3

Servicio: Almacenar el suero procedente de la torre de desorción de amoniaco para acondicionarlo a la coagulación

Costo Unitario: US\$ 5.930

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Caudal de Entrada del Suero (L/día):</i>	850,8
<i>Caudal de Acido Acético al 98% (L/día):</i>	2,77
<i>pH de Salida</i>	5-5,3
<i>Densidad del Suero (Kg/m³):</i>	1009,33
<i>Viscosidad (cp):</i>	2,5

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Díámetro (m):</i>	1,5
<i>Altura (m):</i>	2,3
<i>Capacidad (m³):</i>	4,2
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	3,7
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Vertical

<i>Tipo de Impulsor:</i>	Turbina de Hoja Plana
<i>Díámetro (m):</i>	0,91
<i>Velocidad de Rotación (s⁻¹):</i>	0,95
<i>Potencia (Hp):</i>	3
<i>Material:</i>	Acero Inoxidable

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TANQUE TCG.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Tanque de Coagulación del suero

Tipo de tanque: Canoa de Almacenamiento

Cantidad: 13

Servicio: Mantener el suero en reposo para favorecer la formación de coágulos

Tiempo de Residencia: 4 horas

Costo Unitario: US\$ 1.600

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	
<i>Denominación:</i>	Látex	Coagulo	Suero
<i>Flujo (Kg/día):</i>	859,41	223,98	635,44
<i>Flujo aceite de ricino (Kg/día):</i>	0,61	0,61	-
<i>% DRC:</i>	8,43	31,04	0,46

3. PARAMETROS DE DISEÑO

Descripción: Son canoas rectangulares y contienen tabiques o particiones dispuestos de una manera especial, de tal suerte que el coágulo puede formar una lámina continua. Estos compartimientos están sostenidos por un cuadro móvil que permite el descenso y elevación del conjunto

<i>Ancho (m):</i>	0,9
<i>Largo (m):</i>	3
<i>Alto (m):</i>	0,45
<i>Capacidad (m³):</i>	1,215
<i>Volumen de Líquido (m³):</i>	0,851
<i>Material:</i>	Acero inoxidable
<i>Posición:</i>	Horizontal

HOJA DE ESPECIFICACIÓN PARA LA CREPADORA CUG1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Crepadora

Cantidad: 5

Costo Unitario: US\$ 46.980

Servicio: Reduce de tamaño y limpia mediante el rocío de agua los coágulos de caucho y los scraps

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO PARA EL HEVEA CRUMB

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
<i>Designación al caucho:</i>	Coágulo	Migas
<i>Espesor (mm):</i>	50	-
<i>Tamaño (mm):</i>	-	12,7
<i>Humedad (%):</i>	60	10
<i>Flujo másico (Kg/día):</i>	2911,7	1248,38
<i>%DRC:</i>	31,04	72,4
<i>% Humedad:</i>	60,00	10,00

3. PARAMETROS DE DISEÑO [28, 36]

Descripción: Consiste en dos rodillos de superficie acanalada, girando en dirección opuesta y con diferente velocidad, en donde el caucho se adhiere mejor para genera presión y así facilitar su rompimiento. Constan de una tubería perforada por donde circula agua que lava el caucho y enfría los rodillos calentados por la fricción

<i>Díámetro de los rodillos (cm):</i>	40.64
<i>Largo de los rodillos (cm):</i>	107
<i>Motor Eléctrico (HP/rpm):</i>	60 / 960
<i>Material de los rodillos:</i>	Hierro
<i>Velocidad:</i>	Hacia adelante 18.9 Hacia atrás 20.4
<i>Relación de Fricción</i>	1:1,18

HOJA DE ESPECIFICACIONES PARA EL SECADOR SCG1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Secador Tipo Túnel de Canasta

Cantidad: 1

Tiempo de Residencia: 3 horas

Costo Unitario: US\$ 14.000

Servicio: Eliminar la humedad de las migas de caucho, usando aire precalentado

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

Temperatura del Aire a la entrada (°C): 28

Temperatura del Aire a la salida (°C): 125

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
<i>Humedad del caucho (%):</i>	10	0,5
<i>% DRC del caucho:</i>	72,4	80,04
<i>Flujo másico (Kg/día):</i>	1.248,38	1.129,23

3. PARAMETROS DE DISEÑO [7, 36, 37]

Descripción: Conformado por una larga cámara por donde circulan cajones montados sobre ruedas que corren por rieles, cada uno de los cuales está constituido por 6 canastas secadoras con fondo perforado donde son colocadas las migas. Con un quemador de fuego directo, un ventilador, un conjunto de tubos para el calentamiento, y una campana de enfriamiento. Está totalmente provisto con los instrumentos automáticos de control para mantener el tiempo de secado, la temperatura y el flujo de aire.

<i>Largo del secador (m):</i>	16
<i>Material de las Canastas Secadoras:</i>	Aluminio
<i>Profundidad (cm):</i>	38
<i>Largo (cm):</i>	71
<i>Ancho (cm):</i>	35.5
<i>Combustible:</i>	Diesel

HOJA DE ESPECIFICACIONES PARA LA PRENSA PR1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Prensa Hidráulica de Empacado

Cantidad: 1

Costo Unitario: US\$ 6.000

Servicio: Compactar las migas secas de caucho en bloques de peso y dimensiones estándar.

2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Presión (psi):</i>	1500
<i>Tiempo (s):</i>	30
<i>Peso de la Bala (Kg):</i>	33,3
<i>Dimensiones de la bala (cm):</i>	79 x 40 x 30

3. PARAMETROS DE DISEÑO [37]

Descripción: Se emplean dos cámaras gemelas que permiten presionar y cargar la bala simultáneamente para llevarla fuera y empacarla. Cuenta con manómetros para controlar la presión.

<i>Funcionamiento:</i>	Automático
<i>Rendimiento:</i>	3 Ton DRC/h

ANEXO M. EQUIPOS PARA EL PROCESO SECO [6,37]

HOJA DE ESPECIFICACIÓN HYDRAULIC CUTTER HC.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Cortadora Hidráulica

Cantidad: 1

Servicio: Reduce de tamaño las hojas o balas de caucho que ingresan al proceso seco



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	<u>Entrada</u>	<u>Salida</u>
<i>Designación al caucho:</i>	Balas	Bloques
<i>Tamaño (cm):</i>	50 x 50	50 x 25
<i>Espesor (cm):</i>	30	30

3. PARAMETROS DE DISEÑO

<i>Material de la cuchilla:</i>	Acero Inoxidable
<i>Presión (Ton. Fuerza):</i>	30
<i>Modelo:</i>	EMP

HOJA DE ESPECIFICACIÓN DRY PROCESSOR DP.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Homogeneizador

Cantidad: 2

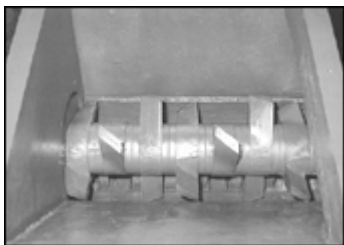
Servicio: Mezcla y reduce de tamaño los bloques de caucho



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
<i>Designación al caucho:</i>	Bloques	Migas
<i>Tamaño (cm):</i>	25	2,5
<i>Temperatura (°C):</i>	25	90

3. PARAMETROS DE DISEÑO



Eje con las cuchillas

<i>Capacidad (Ton/h):</i>	1-1,5
<i>Cuchilla:</i>	Rotatoria
<i>Material:</i>	Acero Templado
<i>Sistema de Calentamiento:</i>	Resistencia Eléctrica
<i>Dimensiones (cm)</i>	260 x 190 x 150
<i>Modelo</i>	EMP DP 1.5
Cuenta con un control de Temperatura	

HOJA DE ESPECIFICACIÓN COOLING TUNNEL CT.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Enfriador de Túnel

Cantidad: 1

Servicio: Enfriar las migas de caucho con aire



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

<i>Temperatura de Entrada (°C):</i>	90
<i>Temperatura de Salida (°C):</i>	40
<i>Temperatura del Aire (°C):</i>	25
<i>Tiempo (min):</i>	30

3. PARAMETROS DE DISEÑO

Descripción: Este secador de tipo túnel consta de ventiladores, canastas en donde se deposita las migas de caucho y una caja de control.

<i>Longitud del Túnel (m):</i>	12
<i>Modelo:</i>	EMP

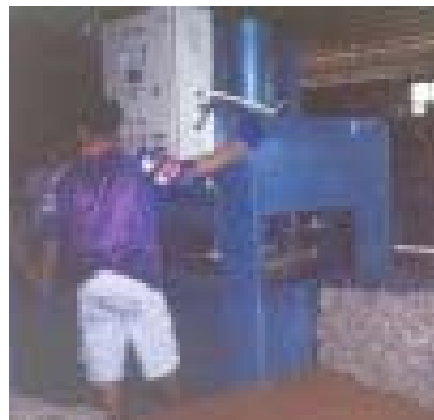
HOJA DE ESPECIFICACIÓN BALING PRESS BP.1

1. INFORMACION GENERAL:

Identificación: Prensa de Empacado

Cantidad: 1

Servicio: Prensar las migas de caucho en balas estándar



2. REQUERIMIENTOS DE PROCESO

	<u>Entrada</u>	<u>Salida</u>
<i>Designación al caucho:</i>	Migas	Balas
<i>Tamaño (cm):</i>	-	79 x 40 x 30
<i>Peso(Kg):</i>	33,33	33,33



3. PARAMETROS DE DISEÑO

Presión (Ton. Fuerza):

60

Modelo:

EMP

ANEXO N. COSTOS GENERALES

1. PLANTA PEQUEÑA

Los costos se determinaron en pesos Colombianos, ya que el costo de todos los equipos, la materia prima y el precio de venta de los productos se cotizaron en esta moneda.

Tabla 1. Costo de los Equipos.

EQUIPO FUNDAMENTAL	CAPACIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Colador		2	1.500	3.000
Canoas de coagulación	60000 cm ³	5	55.300	276.500
Rasqueta para agitar		2	10.000	20.000
Laminadora Manual		1	2.500.000	2.500.000
TOTAL DEL COSTO DE LOS EQUIPOS, \$				2.799.500

Tabla 2. Descripción Detallada de los Costos Directos e Indirectos.

	VALOR (\$)
COSTOS DIRECTOS	12.323.937,50
A. Equipos	8.293.285,00
Costo de compra de los equipos	5.799.500,00
Instalación de los equipos incluyendo aislamiento y pintura	1.449.875,00
Tubería instalada	579.950,00
Sistema eléctrico instalado	463.960,00
B. Edificaciones de proceso y auxiliares	2.508.283,75
C. Servicios	1.232.393,75
Tratamiento de agua	159.486,25
Distribución de agua	289.975,00
Disposición de aguas residuales	260.977,50
Disposición sanitaria de residuos	57.995,00
Almacenamiento de materias primas	463.960,00
Almacenamiento del producto final	347.970,00
D. Costo del terreno	289.975,00
COSTOS INDIRECTOS	2.174.812,50

El capital fijo de inversión es la suma de los costos directos e indirectos, el capital de trabajo se define como un 15% de este y el total del costo de la inversión es la suma de los dos.

➤ **Total del capital de inversión: \$ 14'498.750**

Con base en el costo de las materias primas y la mano de obra se calcula el costo total de producción, sumando el costo de manufactura y los gastos generales [30].

Tabla 3. Costo de las Materias Primas.

Materia prima	Cantidad	Costo unitario	Costo diario \$/día	Costo anual \$/año
Látex fresco	100 L/día	372 \$/L	37.200	13'392.000
Ácido acético concentrado	156,72 ml/día	2.200 \$/500 ml	689,57	248.244,5

La mano de obra directa que se requiere es de 2 operarios y el administrador o dueño. El precio por hora se estima con base en el salario de un jornal. La mano de obra total por año es de 7'560.000 pesos.

Tabla 4. Descripción Detallada de los Costos de Manufactura y Gastos Generales

	VALOR (\$/año)
COSTO DE MANUFACTURA	33.669.226,39
A. Costos directos de producción	26.191.684,54
Materia prima	13.640.244,48
Mano de obra	7.560.000,00
Servicios industriales	3.686.552,56
Mantenimiento y reparaciones	1.304.887,50
B. Cargos fijos	2.685.023,51
Depreciación de la maquinaria	1.449.875,00
Depreciación de las edificaciones	75.248,51
Impuestos locales	1.014.912,50
Seguros	144.987,50
C. Costos auxiliares de la planta	4.792.518,33
GASTOS GENERALES	3.196.298,69
A. Costos administrativos	1.327.158,92
B. Costos de distribución y venta	1.131.829,26
C. Costos de investigación y desarrollo	737.310,51

➤ **Total del capital de inversión: \$ 34'100.611**

A partir del costo total de producción y de la producción total de caucho seco (11.759,46000 Kg/año), se calcula el costo de producción.

➤ **Costo de Producción: 2.890 \$/Kg**

Actualmente el precio en el mercado nacional de las láminas de caucho secadas al aire es de 3.600 \$/Kg y el del ripio es de 2.800 \$/Kg [34].

Para aplicar los diferentes criterios de evaluación de proyectos, es necesario establecer los flujos de caja correspondientes a los ingresos, egresos, inversión inicial y valores recuperados al final del proyecto.

Tabla 5. Resumen de los Ítems necesarios para el Análisis Económico.

Inversión Inicial	\$ 16.673.562,50
Capital Fijo de Inversión	\$ 14.498.750,00
Capital de Trabajo	\$ 2.174.812,50
Ingresos	48.308.388,65 \$/año
Venta de caucho laminado	42.478.065,88 \$/año
Venta de ripio	5.830.322,77 \$/año
Egresos	809.0648,59 \$/año
Costo de manufactura	33.669.226,39 \$/año
Depreciación de maquinaria y edificaciones	1.525.123,51 \$/año
Gastos generales	3.196.298,69 \$/año
Valores recuperados al final del proyecto	3.046.332,36\$
Valor de salvamento sobre edificaciones y equipos	581.544,86 \$
Terrenos	289.975,00 \$
Capital de trabajo	2.174.812,50 \$

Las ecuaciones utilizadas para estimar los criterios de evaluación económica son:

- **Ventas Brutas**

Venta del caucho laminado + Venta de ripio

- **Beneficio Bruto**

Ventas brutas – Costo de manufactura

- **Beneficio Neto antes de Impuestos (BNAI)**

Beneficio bruto – Gastos generales

- **Tasa de Impuesto a la Renta**

0.5* (Beneficio bruto – Depreciación de maquinaria y edificaciones)

- **Ganancia Neta Anual**

Beneficio neto antes de impuestos – Tasa de impuesto a la renta

- **Retorno sobre la inversión**

$$R.O.I. = \frac{BNAI}{CAPITAL FIJO + CAPITAL DE TRABAJO}$$

- **Periodo de Pago**

$$\frac{INVERSIÓN INICIAL}{BNAI + DEPRECIACIÓN TOTAL}$$

- **Valor presente neto**

$$VPN = \sum \frac{VF_j}{(1 + i_p)^{N_j}}$$

El valor de VPN a la TIR del 15% y para un tiempo de proyecto de 15 años es positivo, indicando que el proyecto es rentable y que es posible obtener una tasa interna de retorno superior, la cual corresponde al valor presente neto igual a cero.

2. PLANTA MEDIANA

El procediendo para el cálculo de los costos y los criterios de evaluación se realizan igual que la planta pequeña, pero en esta se trabaja en dólares ya que el precio del producto se tiene en esta moneda al igual que el costo de algunos equipos.

Tabla 6. Costo de los Equipos.

EQUIPO FUNDAMENTAL	CAPACIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
Tamiz acero inoxidable, TZ1		1	1.400	1.400
Tanques de homogeneización	2.27 m ³	1	2.900	2.900
Tanques de coagulación	1,22 m ³	3	1.600	4.800
Crepadoras*		3	46.980	140.940
Túnel secador		1	14.000	14.000
Prensa hidráulica		1	6.000	6.000
TOTAL DEL COSTO DE LOS EQUIPOS, US\$				170.041

* Cotizadas en la India.

Se calcula el capital fijo de inversión como la suma de los costos directos e indirectos (Tabla 8) y con este determinar el total del capital de inversión.

➤ **Total del capital de inversión: US\$ 611.086**

Tabla 7. Costo de las Materias Primas.

Materia prima	Cantidad	Costo unitario	Costo diario US\$/día	Costo anual US\$/año
Látex fresco	1.500 L/día	0,1487 US\$/L	223	80.298
Ácido acético concentrado	1.125 ml/día	0,44US\$/500 ml	0,99	356,40
Aceite de ricino	1,04 gal/día	9 US\$/gal	9,33	3.360,84

Tabla 8. Descripción Detallada de los Costos Directos e Indirectos.

	VALOR (US\$)
COSTOS DIRECTOS	435.731
A. Equipos	318.827,53
Costo de compra de los equipos	170.041,35
Instalación de los equipos incluyendo aislamiento y pintura	59.514,47
Instrumentaciones y controles instalados	22.105,38
Tubería instalada	85.020,67
Sistema eléctrico instalado	17.004,13
B. Edificaciones de proceso y auxiliares	42.085,23
C. Servicios	68.016,54
Suministro de agua, enfriamiento y bombeo	7.970,69
Tratamiento de agua	1.594,14
Distribución de agua	7.970,69
Distribución eléctrica	8.502,07
Suministro de gas y distribución	1.594,14
Disposición de aguas residuales	7.970,69
Disposición sanitaria de residuos	1.594,14
Comunicaciones	531,38
Almacenamiento de materias primas	15.941,38
Almacenamiento del producto final	12.753,10
Sistema anti-incendios	1.594,14
D. Costo del terreno	6.801,65
COSTOS INDIRECTOS	95.648,26
A. Ingenieros y Supervisión	27.950,55
B. Gastos en construcción y honorarios del contratista	30.501,17
C. Contingencia o imprevistos	37.196,55

A partir del costo total de producción (Tabla 9) y de la producción total de caucho seco (177.000,24 Kg/año), se calcula el costo de producción.

➤ **Costo de Producción: 1.5068 US\$/Kg**

El caucho Hevea Crumb obtenido es de buena calidad y se puede considerar como TSR-10 con un precio en el mercado internacional de 1.6725 US\$/Kg y el subproducto Hevea Crumb a partir de los scraps se puede considerar como TSR-20 con precio internacional de 1.667 US\$/Kg [35].

Tabla 9. Descripción Detallada de los Costos de Manufactura y Gastos Generales

	VALOR (US\$/año)
COSTO DE MANUFACTURA	233.360,71
A. Costos directos de producción	165.302,31
Materia prima	93.344,28
Mano de obra	26.669,80
Directivas y otros	2.666,98
Servicios industriales	26.669,80
Mantenimiento y reparaciones	10.627,58
Operaciones de suministros	2.656,90
Cargos de laboratorio	2.666,98
B. Cargos fijos	61.418,94
Depreciación de la maquinaria	53.137,92
Depreciación de las edificaciones	841,70
Impuestos locales	5.313,79
Seguros	2.125,52
C. Costos auxiliares de la planta	6.639,46
GASTOS GENERALES	33.337,24
A. Costos administrativos	13.334,90
B. Costos de distribución y venta	6.667,45
C. Costos de investigación y desarrollo	13.334,90

Tabla 10. Resumen de los Ítems necesarios para el Análisis Económico.

Inversión Inicial	611.086 US\$
Capital Fijo de Inversión	531.379,22 US\$
Capital de Trabajo	79.706,88 US\$
Ingresos	323.803,20 US\$/año
Venta de caucho Hevea Crumb	296.032,90 US\$/año
Venta de caucho Hevea Crumb 2	27.770,30 US\$/año
Egresos	320.677,58 US\$
Costo de manufactura	233.360,71 US\$/año
Depreciación de maquinaria y edificaciones	53.979,63 US\$/año
Gastos generales	33.337,24 US\$/año
Valores recuperados al final del proyecto	101.356,99 US\$
Valor de salvamento sobre edificaciones y equipos	14.848,86 US\$
Terrenos	6801,65 US\$
Capital de trabajo	79.706,88 US\$

3. PLANTA GRANDE

3.1 Planta de Látex Centrifugado

Se calculan los costos y los criterios económicos de evaluación en dólares y de la misma manera que la planta pequeña.

Tabla 11. Costo de los Equipos.

EQUIPO FUNDAMENTAL	CAPACIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
Tamiz acero inoxidable, TZG1		6	1.400	8.400
Tanque de homogeneización THG.1	3,8 m ³	9	5.600	50.400
Tanque de sedimentación	7,74 m ³	3	2.800	8.400
Centrifuga	450 L/h	1	34.000	102.000
Tanque de homogeneización TAG.1	3,71 m ³	6	5.930	35.580
Torre de desorción de amoniaco		1	3.000	3.000
Tanque de burbujeo	0,4 m ³	1	5.000	5.000
Tanques de coagulación	1,22 m ³	13	1.600	20.800
Crepadoras*		3	46.980	140.940
Túnel secador		1	14.000	14.000
Prensa hidráulica		1	6.000	6.000
TOTAL DEL COSTO DE LOS EQUIPOS, US\$				395.520

* Cotizadas en la India.

Tabla 12. Costo de las Materias Primas.

Materia prima	Cantidad	Costo unitario	Costo diario US\$/día	Costo anual US\$/año
Látex fresco	20.000 L/día	0,1487 US\$/L	2.974	1.070.640
Ácido acético concentrado	8.295,33 ml/día	0,44US\$/500 ml	7,30	2.627,96
Aceite de ricino	2,18 gal/día	9 US\$/gal	19,6	7.054,95
Solución de Amoniaco al 25%	315,95 L/día	7 US\$/4 L	552,91	199.048,42

Tabla 13. Descripción Detallada de los Costos Directos e Indirectos.

	VALOR (US\$)
COSTOS DIRECTOS	1.397.258
A. Equipos	986.300,00
Costo de compra de los equipos	394.520,00
Instalación de los equipos incluyendo aislamiento y pintura	157.808,00
Instrumentaciones y controles instalados	78.904,00
Tubería instalada	295.890,00
Sistema eléctrico instalado	59.178,00
B. Edificaciones de proceso y auxiliares	138.739,94
C. Servicios	256.438,00
Suministro de agua, enfriamiento y bombeo	23.013,67
Tratamiento de agua	4.931,50
Distribución de agua	23.013,67
Distribución eléctrica	26.301,33
Suministro de gas y distribución	4.931,50
Disposición de aguas residuales	19.726,00
Disposición sanitaria de residuos	4.931,50
Comunicaciones	1.643,83
Almacenamiento de materias primas	49.315,00
Almacenamiento del producto final	39.452,00
Sistema anti-incendios	4.931,50
Distribución de vapor	6.575,33
Compresión de aire y distribución	23.013,67
Subestación eléctrica	24.657,50
D. Costo del terreno	15.780,80
COSTOS INDIRECTOS	246.575,00
A. Ingenieros y Supervisión	64.356,34
B. Gastos en construcción y honorarios del contratista	85.232,76
C. Contingencia o imprevistos	96.986,17

➤ **Total del capital de inversión: US\$ 1'890.408**

A partir del costo total de producción (Tabla 14) y de la producción total de látex centrifugado (3.200.904 Kg/año), se calcula el costo de producción.

➤ **Costo de Producción: 0,9516 US\$/Kg**

El precio en el mercado de látex centrifugado es de 0,5359 \$/Kg y el del caucho de natas es de 0,3646 \$/Kg DRC [11].

Tabla 14. Descripción Detallada de los Costos de Manufactura y Gastos Generales.

	VALOR (US\$/año)
COSTO DE MANUFACTURA	2.637.704,25
A. Costos directos de producción	1.990.614,05
Materia prima	1.279.371,33
Mano de obra	304.612,22
Directivas y otros	30.461,22
Servicios industriales	304.612,22
Mantenimiento y reparaciones	32.876,67
Operaciones de suministros	8.219,17
Cargos de laboratorio	30.461,22
B. Cargos fijos	190.171,87
Depreciación de la maquinaria	164.383,40
Depreciación de las edificaciones	2.774,80
Impuestos locales	16.438,33
Seguros	6.575,33
C. Costos auxiliares de la planta	456.918,33
GASTOS GENERALES	448.279,58
A. Costos administrativos	152.306,11
B. Costos de distribución y venta	143.667,36
C. Costos de investigación y desarrollo	152.306,11

Tabla 15. Resumen de los Ítems necesarios para el Análisis Económico.

Inversión Inicial	1.890.408,33 US\$
Capital Fijo de Inversión	1.643.833,33 US\$
Capital de Trabajo	246.575,00 US\$
Ingresos	1.833.991,58 US\$/año
Venta de látex centrifugado	1.715.364,40 US\$/año
Venta de caucho de natas	118.627,19 US\$/año
Egresos	3.253.142,03US\$
Costo de manufactura	2.637.704,25 US\$/año
Depreciación de maquinaria y edificaciones	167.158,20 US\$/año
Gastos generales	448.279,58 US\$/año
Valores recuperados al final del proyecto	299.684,00 US\$
Valor de salvamento sobre edificaciones y equipos	37.328,20 US\$
Terrenos	15.780,80 US\$
Capital de trabajo	246.575,00 US\$

3.2 Planta del Proceso Seco para TSR

Conocido el costo de una línea de producción requerida en el proceso seco, se hace un escalamiento en capacidad utilizando la regla del six-tenth-rule para estimar el costo de la línea de producción requerida, lo que corresponde al costo total de los equipos.

$$\frac{C_a}{C_b} = \left(\frac{A_a}{A_b} \right)^{0,6}$$

Donde

A: es la capacidad del proceso

C: el costo de compra

a: se refiere al proceso que se va estimar el costo

b: se refiere al proceso base, cuyos datos ya son conocidos

La cotización obtenida para una línea con capacidad de 1 Tonelada/h parte de la empresa EMP de Malasia es de US\$180.000 FOB Malasia e incluye:

- 1 Cortadora hidráulica (Hydraulic Cutter)
- 2 Molinos mezcladores (Dry Processor)
- 1 Túnel de enfriamiento de 40 ft de longitud
- 5 Bandas transportadoras
- 1 Prensa Hidráulica de 60 toneladas de presión

La materia prima tiene un costo anual de US\$ 1.699.2000, la cual son láminas de caucho (6.555,56 Kg/día). Con este costo y el total de los equipos calculan los criterios de evaluación económica como la planta pequeña.

Tabla 16. Descripción Detallada de los Costos Directos e Indirectos.

	VALOR (US\$)
COSTOS DIRECTOS	296.288
A. Equipos	209.144,53
Costo de compra de los equipos	111.543,75
Instalación de los equipos incluyendo aislamiento y pintura	39.040,31
Instrumentaciones y controles instalados	14.500,69
Tubería instalada	21.751,03
Sistema eléctrico instalado	22.308,75
B. Edificaciones de proceso y auxiliares	36.948,95
C. Servicios	44.617,50
Suministro de agua, enfriamiento y bombeo	2.091,45
Tratamiento de agua	697,15
Distribución de agua	1.742,87
Distribución eléctrica	6.971,48
Suministro de gas y distribución	1.220,01
Disposición de aguas residuales	1.394,30
Disposición sanitaria de residuos	522,86
Comunicaciones	697,15
Almacenamiento de materias primas	10.457,23
Almacenamiento del producto final	8.365,78
Sistema anti-incendios	1.742,87
Compresión de aire y distribución	5.228,61
Subestación eléctrica	3.485,74
D. Costo del terreno	5.577,19
COSTOS INDIRECTOS	52.286,13
A. Ingenieros y Supervisión	17.080,14
B. Gastos en construcción y honorarios del contratista	17.777,28
C. Contingencia o imprevistos	17.428,71

➤ **Total del capital de inversión: US\$ 400.860**

La producción total de caucho TSR-10 es 2.360.000 Kg/año,

➤ **Costo de Producción: 1,6071 US\$/Kg**

Tabla 17. Descripción Detallada de los Costos de Manufactura y Gastos Generales.

	VALOR (US\$/año)
COSTO DE MANUFACTURA	3.194.087,61
A. Costos directos de producción	2.561.307,21
Materia prima	1.699.200,00
Mano de obra	379.285,71
Directivas y otros	37.928,57
Servicios industriales	379.285,71
Mantenimiento y reparaciones	6.971,48
Operaciones de suministros	1.742,87
Cargos de laboratorio	56.892,86
B. Cargos fijos	63.851,83
Depreciación de la maquinaria	34.857,42
Depreciación de las edificaciones	1.108,47
Impuestos locales	24.400,19
Seguros	3.485,74
C. Costos auxiliares de la planta	568.928,57
GASTOS GENERALES	598.769,53
A. Costos administrativos	189.642,86
B. Costos de distribución y venta	219.483,82
C. Costos de investigación y desarrollo	189.642,86

Tabla 18. Resumen de los Ítems necesarios para el Análisis Económico.

Inversión Inicial	400.860 US\$
Capital Fijo de Inversión	348.574,21 US\$
Capital de Trabajo	52.286,13 US\$
Ingresos	3.947.100 US\$/año
Venta de TSR-10	3.947.100 US\$/año
Egresos	3.828.822,14 US\$
Costo de manufactura	3.194.087,61 US\$/año
Depreciación de maquinaria y edificaciones	35.965 US\$/año
Gastos generales	598.769,53 US\$/año
Valores recuperados al final del proyecto	68.257,81 US\$
Valor de salvamento sobre edificaciones y equipos	10.394,49 US\$
Terrenos	5.577,19US\$
Capital de trabajo	52.286,13 US\$