

**ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LÁTEX NATURAL  
PROVENIENTE DE HEVEA BRASILIENSIS POR MEDIO DE  
TERMOGRAVIMETRÍA**

**ANGÉLICA PATRICIA CÁCERES SANDOVAL**

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

**2011**

**ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LÁTEX NATURAL  
PROVENIENTE DE HEVEA BRASILIENSIS POR MEDIO DE  
TERMOGRAVIMETRÍA**

**ANGÉLICA PATRICIA CÁCERES SANDOVAL**

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

**Directora**

**MARIA PAOLA MARADEI GARCÍA, PhD**

**Ph D. Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2011**

*At Dios que es mi mayor apoyo y mi mejor guía.*

*At mis padres Rodrigo y Elsa por su grandioso amor y esperanza puesta  
en mí.*

*At mis hermanas Elsa y Gio por la constante confianza depositada en  
mí, las amo.*

*At Edgar Antonio por su cariño y consejos desde muy pequeña.*

*At mi nonita Luisa Flvia y mi sobrino Daniel que son lo más puro y  
tierno de la vida.*

*At Pablo Julián por su cariño y amadas chocheras*

*At Judy, Made, Dianita, Delcy, Elizabeth, Javier, más que una  
etapa académica, una fuerte y sentida amistad.*

*At todas las personas que han pasado por mi vida, siempre dejan algo  
bueno que tomar.*

*At todos... gracias, los quiero mucho.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Doctora **María Paola Maradei** por su orientación y entera colaboración.

A la **Universidad Industrial de Santander** y su **Personal Docente** por la formación académica recibida.

Al Ingeniero **Guillermo Acero** y a la Química **Nathalia Bedoya** por su colaboración y acompañamiento en el Laboratorio de Termogravimetría y Espectroscopía Infrarroja.

A los señores **Eduardo Carreño** y **Wilson Carreño** por su ayuda y asistencia técnica en el Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química.

A la **Ingeniera Viviana Vargas**, de **Procaucho S.A.**, por su atenta colaboración y suministro de la materia prima.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	14
1. MARCO TEÓRICO .....	15
1.2. PRESERVACIÓN Y PRE-TRATAMIENTOS DEL LÁTEX NATURAL .....	15
1.3. ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX Y ANTECEDENTES. 16	
1.3.1. Análisis termogravimétrico .....	16
1.3.2. Estudios termogravimétricos del caucho y látex natural .....	17
1.3.3. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, FTIR.....	18
1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL LÁTEX PRESERVADO .....	18
1.4.1. Fase caucho .....	19
1.4.2. Fase acuosa .....	21
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	23
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.2. CARACTERIZACIÓN ALTERNATIVA .....	24
2.3. CARACTERIZACIÓN CONVENCIONAL .....	26
2.3.1. Contenido de sólidos totales .....	26
2.3.2. Contenido de caucho seco.....	27
2.4. CARACTERIZACIÓN POR FTIR .....	27
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	29
3.1. DETERMINACIÓN DE EXACTITUD DEL TGA.....	29
3.2. PRUEBAS EXPLORATORIAS EN EL TGA CON EL LÁTEX NATURAL .30	
3.3. CARACTERIZACIÓN ALTERNATIVA DE LÁTEX NATURAL.....	35
3.4. CARACTERIZACIÓN POR FTIR .....	37
3.4.1. Caracterización por FTIR de látex coagulado y látex seco.....	38
3.4.2. Caracterización por FTIR de suero acuoso de látex y de látex preservado.....	40
4. CONCLUSIONES .....	42

5. RECOMENDACIONES.....	43
CITAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS .....	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del látex natural.....	19
Tabla 2. Composición de la fase dispersa del látex natural .....	20
Tabla 3. Propiedades físicas de ciertos componentes del látex natural .....	33
Tabla 4. Valores determinados por los dos tipos de caracterización .....	37

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Molécula del caucho natural.....	19
Figura 2. Ilustración de una partícula de caucho rodeada de una capa interna de fosfolípidos y una capa exterior de sustancia proteica. ....	21
Figura 3. Esquema del desarrollo de la investigación.....	23
Figura 4. Métodos experimentados con el látex natural preservado y látex seco por TGA.....	25
Figura 5. Curva termogravimétrica de calibración para el TGA.....	29
Figura 6. Curva termogravimétrica de la prueba 1 con el látex natural preservado almacenado durante 1 año .....	31
Figura 7. Curvas TG y DTG de la prueba 2 con el látex natural preservado y almacenado durante 1 año .....	32
Figura 8. Curvas TG y DTG de la caracterización del látex natural preservado y almacenado durante 2 meses.....	36
Figura 9. Espectro FTIR del látex coagulado y látex seco (% Transmitancia y Número de onda).....	39
Figura 10. Espectro FTIR del suero acuoso del látex y de látex preservado (% Transmitancia y Número de onda) .....	41

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO PARA DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES (ASTM D1076 – 10).....	49
ANEXO B. OTRAS PROPIEDADES INCLUIDAS EN LAS NORMAS ASTM D1076 – 1052	

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LÁTEX NATURAL PROVENIENTE DE HEVEA BRASILIENSIS POR MEDIO DE TERMOGRAVIMETRÍA \*

**AUTOR:** ANGÉLICA PATRICIA CÁCERES SANDOVAL \*\*

**Palabras Claves:** Látex natural, Termogravimetría, Contenido sólidos totales, Contenido caucho seco.

**DESCRIPCIÓN.** El látex de caucho natural es la materia prima para la fabricación de elementos utilizados en sectores como medicina, piñatería, industria textil, entre otros. La Norma ASTM D1076 – 10 presenta un método para la determinación de Contenido de Sólidos Totales (TS), Contenido de Caucho Seco (DRC) y Ácidos Grasos Volátiles (VFA), entre otras propiedades, para el látex natural; este método resulta ser largo y tedioso, por tal razón se busca una nueva forma de determinar el contenido de estas propiedades (TS, DRC y VFA) en el látex natural, ahorrando tiempo y facilitando su obtención. En este trabajo se sometieron muestras de látex natural a análisis termogravimétrico, manipulando la temperatura y el tiempo de prueba bajo una atmósfera inerte. Los resultados fueron comparados con los obtenidos en los métodos señalados por las normas ASTM D1076 – 10, obteniéndose como resultado final una nueva forma de determinación del el Contenido de Sólidos Totales (TS) y el Contenido de Caucho Seco (DRC), con un error de 2,84 % entre los valores obtenidos para el Contenido de TS y de 1,67% entre los valores obtenidos para el DRC; no fue posible determinar el contenido de VFA por termogravimetría pues la pérdida de masa de estas sustancias está asociada con la del agua. Adicionalmente, se realizó una caracterización cualitativa por FTIR del la fase densa y la fase acuosa del látex natural, lo que permitió la identificación de grupos funcionales correspondientes al poliisopreno, proteínas y carbohidratos en la fase densa del látex natural.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: María Paola Maradei García.

## ABSTRACT

**TITLE:** STUDY OF PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF NATURAL LATEX FROM HEVEA BRASILIENSIS BY THERMOGRAVIMETRY \*

**AUTHOR:** ANGÉLICA PATRICIA CÁCERES SANDOVAL \*\*

**KEY WORDS:** Natural latex, Thermogravimetry, Total solids content, Dry rubber

**DESCRIPTION.** Natural rubber latex is the raw material for the manufacture of elements used in sectors such as medicine, piñatería, textile industry, among others. The standard ASTM D1076 - 10 presents a method for the determination of total solids content (TS), dry rubber content (DRC) and volatile fatty acids (VFA), among other properties, in natural rubber latex; This method turns out to be long and tedious, for this reason this work looks for a new way of determining the content of these properties (TS, DRC and VFA) in natural rubber latex, reducing time and facilitating its obtaining. In this work, natural rubber latex samples were studied by thermogravimetric analysis, by manipulating the temperature and the test time in an inert atmosphere. The results were compared with those obtained by the methods indicated by ASTM D1076 – 10 standards, obtaining as a result a new form of determination of the total solids content (TS) and the dry rubber content (DRC), the error percentage is 1,34% among the TS content values and 0,73% among the DRC values; It was not possible to determine the VFA content by thermogravimetry because mass loss of these substances is associated with the water. In addition, it was carried out a qualitative characterization by FTIR for dense phase and aqueous phase of natural latex, which allowed the identification of functional groups corresponding to polyisoprene, proteins and carbohydrates in the dense phase of natural rubber latex.

---

\* Trabajo de grado.

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

## INTRODUCCIÓN

El látex de caucho natural es el material primario para la fabricación de diversos elementos utilizados en sectores como medicina, piñatería, industria textil, entre otros. La calidad de tales productos está sometida a la composición inicial del látex fresco preservado y en especial la cantidad de hidrocarburo presente en él, conocido en la industria del caucho como “DryRubber Content”, (DRC, Contenido de Caucho Seco) y que es tal vez, la característica más relevante al momento de su comercialización.

La clasificación del látex de caucho natural está especificada en las Normas ASTM[1] en las cuales se presenta un procedimiento a seguir para determinar el DRC del látex, el contenido de sólidos totales y de ácidos grasos volátiles (VFA), entre otras propiedades; este método resulta ser largo y tedioso, por lo que se busca una nueva forma de caracterizar el látex, ahorrando tiempo y facilitando su obtención.

En este trabajo se sometieron muestras de látex preservado a análisis termogravimétrico, manipulando la temperatura y el tiempo de prueba; los resultados fueron comparados con los obtenidos en los métodos señalados por las normas internacionales obteniéndose como resultado final un método alternativo para la determinación de DRC y contenido de sólidos totales en látex preservado.

Igualmente, se realizó una caracterización del látex preservado mediante FTIR, que permitió la identificación de varios grupos de compuestos interesantes para su utilización como materia prima en la industria química.

## **1. MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se hace una ilustración al lector de la procedencia del látex natural, su preservación y previos tratamientos a su venta. Se muestra además, un estudio bibliográfico en detalle de la composición del látex natural preservado y los métodos para su determinación.

### **1.1. PROCEDENCIA DEL LÁTEX NATURAL**

El látex natural es una sustancia lechosa que proviene del sistema laticífero de diferentes plantas, entre las que se encuentra el árbol *hevea brasiliensis*, el cual es el productor más importante y estudiado en el sector cauchífero.

El látex se obtiene al rayar y remover la corteza del árbol para que este brote de él debido a la presión existente dentro de los vasos laticíferos del tronco.

### **1.2. PRESERVACIÓN Y PRE-TRATAMIENTOS DEL LÁTEX NATURAL**

Una vez el látex deja el árbol, se contagia de bacterias generadoras de ácidos que causan una coagulación prematura y posteriormente una putrefacción; por esta razón se busca preservar la colecta [2].

El preservante comúnmente empleado es el amoníaco en concentraciones de 16 a 20 ml/L y se añade tan pronto se complete la etapa de recolecta [3] [4]. El amoníaco hace veces de bactericida y de álcali, manteniendo básico el pH del látex.

Después de la correcta preservación, el látex se pasa por tamices de acero inoxidable de mallas 40 y 60 para remover contaminantes como viruta de corteza, hojas, arena y pequeños coágulos de caucho [5]. Posteriormente el látex se almacena en tanques de ladrillo forrados con loza ó aluminio y se mantiene en

agitación lenta. A continuación se deja en reposo unas horas para que las impurezas minerales sedimenten [6], finalmente se obtiene un *látex natural preservado*.

### **1.3. ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DEL LÁTEX Y ANTECEDENTES**

A lo largo del tiempo se han realizado distintos ensayos sobre el látex natural preservado, como el contenido de caucho, contenido de amoníaco, presencia de ácidos grasos volátiles, índice de potasa, entre otros. Finalmente las propiedades más relevantes, que se determinan para hacer una clasificación de diferentes tipos de látex, están sintetizadas en las normas ASTM [1] descritas en el siguiente capítulo.

Por otro lado, existen estudios [7][8] de la descomposición térmica del caucho natural que sugieren que un análisis termogravimétrico del látex natural puede arrojar datos tales como el contenido de sólidos totales y contenido de caucho seco.

#### **1.3.1. Análisis termogravimétrico**

La termogravimetría es el estudio de la relación entre la masa de una muestra y la temperatura a la que es sometida la misma; esta técnica es utilizada para apreciar la estabilidad térmica de un material, determinar el contenido de humedad, material volátil, cenizas, y en general, para valoraciones composicionales. Dicho análisis se lleva a cabo en un balanza termogravimétrica (TGA, Thermogravimetric Analyzer), que mide el peso de la muestra en consideración mientras la temperatura es manipulada a través de un programa computacional. Para esta prueba se utiliza una atmósfera de aire ó nitrógeno en la cabina donde está la muestra, dependiendo si se quiere llevar el proceso a oxidación ó tan sólo se quiere usar el gas como medio de arrastre de los componentes volátiles.

Usualmente los resultados arrojados por el TGA son analizados por DTGA, que indica la variación de la masa con respecto a la temperatura; esto determina, por ejemplo, el punto en el cual la caída de peso es más significativa ó el punto en el que es nula ó muy baja la pérdida de peso durante una prueba.

### **1.3.2. Estudios termogravimétricos del caucho y látex natural**

Aunque no se encontró análisis termogravimétricos del látex natural preservado, los diferentes estudios en caucho y látex seco muestran la viabilidad de la técnica para este tipo de material; Por ejemplo, la norma ASTM D6370 – 99 [9] define un procedimiento para la caracterización termogravimétrica del caucho natural proporcionando información sobre la cantidad de materia orgánica (aceites y polímeros), carbón negro y cenizas en compuestos de caucho.

Luego aparece una caracterización de membranas de látex natural por medio de las técnicas TG-DTG y DSC, realizada en Brasil y reportada por Oliveira *et al.* [7]. Los autores constatan la presencia de compuestos volátiles en el rango de temperatura de 27 a 220 °C; mientras que la descomposición térmica del hidrocarburo se muestra entre 220 y 530 °C. La presencia de material aún a 900 °C es considerado como cenizas ó impurezas.

Posteriormente, es presentado un trabajo por Moreno *et al.* [10], que corresponde a un estudio de la descomposición térmica del látex seco bajo distintas velocidades de calentamiento utilizando un TGA, en una atmósfera de nitrógeno. Ellos constatan que la descomposición es independiente de la velocidad de calentamiento bajo condiciones inertes, diferente a lo observado por Li *et al.* [11] que trabajaron bajo oxígeno provocando una aceleración de la descomposición.

### **1.3.3. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, FTIR**

Este es un método experimental para determinar los grupos funcionales de los compuestos existentes en una muestra, utilizando la radiación de la región infrarroja del espectro electromagnético. Las moléculas al absorber dicha energía, responden con distintos movimientos a específicas frecuencias, dependiendo de sus enlaces y su configuración estructural.

Este método se eligió para caracterizar químicamente el látex de caucho natural debido a la gran utilidad que tiene en el reconocimiento de grupos funcionales de compuestos orgánicos.

### **1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL LÁTEX PRESERVADO**

El látex es una dispersión coloidal constituida por partículas de poliisopreno, que corresponden a la fase dispersa del coloide; la fase dispersante es el agua y el agente estabilizante ó emulsionante son las proteínas [3].

Los constituyentes del látex natural varían con las condiciones climáticas a las que están expuestas las plantas, así como con la etapa del ciclo biológico por el que estén pasando, por ello no se tiene una determinación puntual de la composición de esta materia prima, sin embargo, existe un margen dentro del cual se ubica una gran parte del látex proveniente del hevea; la Tabla 1 muestra una constitución promedio del látex fresco según Le Bras [12], en la que se observa que además del hidrocarburo, el agua y las sustancias proteicas, existen otros componentes que afectan las propiedades de esta sustancia natural.



**Tabla 2.** Composición de la fase dispersa del látex natural

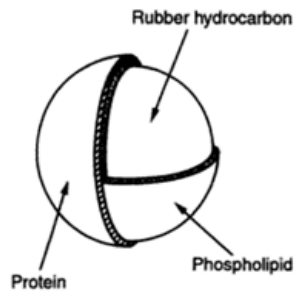
<b>CONSTITUYENTE</b>	<b>PORCENTAJE m/m</b>
Hidrocarburo caucho	86
Agua	10
Sustancias proteicas	1
Sustancias lipoides	3

FUENTE: BLACKLEY, D.C.

Los prótidos que aparecen en esta fase son exclusivos de una adsorción de estos sobre la superficie de las partículas de caucho; sólo un cuarto del total de las proteínas presentes en el látex se cuantifican en la fracción dispersa.

Los lípidos asociados a esta fase comprenden esteroides, ésteres de esteroides y grasas que están disueltas en el hidrocarburo; según el mismo autor este tipo de sustancias comprenden ácidos grasos como el linoleico, oleico, esteárico y palmítico. También existe la presencia de fosfolípidos, que son fuertemente adsorbidos en la superficie de las partículas de caucho y se cree que son intermediarios para que las proteínas sean tomadas con firmeza en la capa superficial del caucho [13]. En la figura 2 se representa una partícula de caucho con fosfolípidos y proteínas adsorbidas.

**Figura 2.** Ilustración de una partícula de caucho rodeada de una capa interna de fosfolípidos y una capa exterior de sustancia proteica.



FUENTE: BLACKLEY, D.C.

#### 1.4.2. Fase acuosa

Esta fase dispersante contiene diferentes especies químicas, entre las que están los carbohidratos, electrolitos, proteínas y aminoácidos, según Blackley [13] y Le Bras [12].

En el conjunto de los carbohidratos, el que se halla en mayor proporción es el *quebrachitoló* éter monometílico del inositol, que compone por lo menos el 1% en peso del total del látex del hevea. Otros glúcidos presentes en el suero acuoso son la galactosa, sacarosa, glucosa y fructosa. Cabe citar que cuando el látex no es correctamente preservado, los carbohidratos, en conjunto con los ácidos grasos saturados y los aminoácidos son utilizados como sustratos por microorganismos para producir ácidos grasos volátiles como el fórmico, acético y propiónico, que tienen una acción perjudicial sobre la estabilidad del coloide [13].

Por otro lado, la mitad del contenido total de las sustancias proteicas del látex es disuelto en la fase acuosa, las principales proteínas son  *$\alpha$ -globulina* y *hevea  $\alpha$ -globulina*. En este grupo también se encuentran la profilina y heveína,

responsables de la reacción alérgica que presentan ciertas personas ante los objetos fabricados en látex natural, caracterizada por una severa reducción de la presión sanguínea, dificultad al respirar y hasta inconsciencia [15] [16].

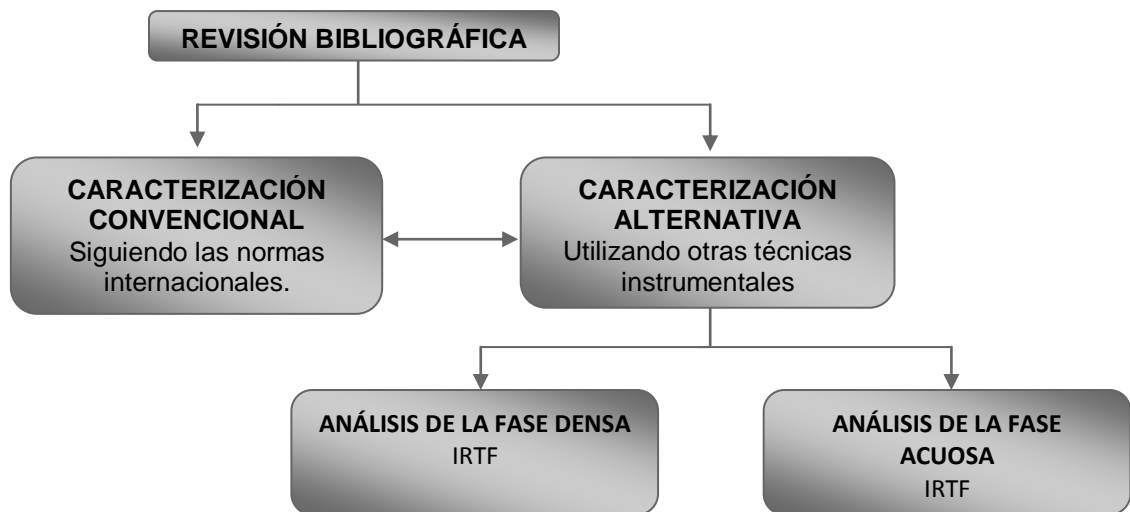
Otras sustancias comprendidas en el suero acuoso del látex son los aminoácidos, producto de la hidrólisis de los prótidos, proceso promovido por la adición de amoníaco, entre las que está la glicina, histidina, lisina, alanina y serina [12]. También se encuentran aniones inorgánicos, principalmente fostatos y carbonatos; además, iones metálicos de potasio, magnesio, hierro, sodio y cobre. Existe adicionalmente una amplia gama de enzimas que aparecen en el látex desde la emanación del árbol y que intervienen en la biosíntesis del hidrocarburo caucho.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este segundo capítulo se da a conocer al lector, la forma en la que se trabajó para lograr los objetivos propuestos, que corresponden a la adopción de una nueva forma de caracterización del látex natural preservado empleando en ello un menor tiempo y trabajo.

En la figura 3 se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para alcanzar los objetivos planteados.

**Figura 3.** Esquema del desarrollo de la investigación.



### 2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Una etapa preliminar del proyecto correspondió a una investigación bibliográfica con el fin de tener documentación de componentes que posiblemente estuvieran presentes en el látex y de los métodos empleados para su determinación; se

decidió experimentar la caracterización en una balanza termogravimétrica y comparar los resultados con los obtenidos en los métodos convencionales; las propiedades a valorar fueron seleccionadas teniendo en cuenta el alcance del estudio composicional del análisis termogravimétrico y las propiedades físicas de los constituyentes citados en la bibliografía: contenido de ácidos grasos volátiles, (VFA), contenido de sólidos totales, (TS) y contenido de caucho seco, (DRC).

Se resolvió también, hacer un análisis por espectroscopía infrarroja al látex seco, coagulado, preservado y al suero acuoso, todos ellos productos y residuos de la caracterización tradicional; con esto se buscó corroborar la composición descrita en la literatura, donde no se expone un método de determinación de los constituyentes químicos.

## **2.2. CARACTERIZACIÓN ALTERNATIVA**

Se ensayó una determinación de los contenidos en el látex preservado en una balanza termogravimétrica TGA 2050 de la marca TA Instruments, que maneja una exactitud de fábrica de  $\pm 0,1$  % de peso; las pruebas fueron realizadas en un portamuestras de platino y bajo una atmósfera de nitrógeno cuyo flujo estaba entre 37 y 45 cm<sup>3</sup>/min, dato recomendado por el fabricante del TGA.

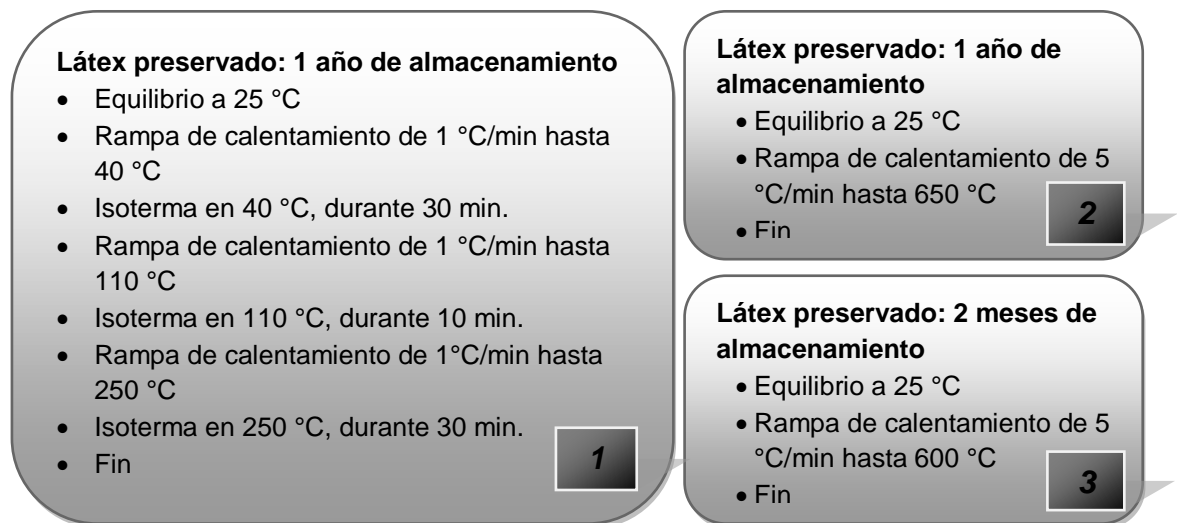
Los métodos ensayados en la balanza fueron planteados a partir de la información reportada en la literatura a cerca de la constitución de la materia en cuestión y de los estudios termogravimétricos previamente registrados para látex seco y caucho natural [7][8][9][10]; dichos métodos se ejecutaron, analizaron y reformularon a medida que se analizaban los resultados.

El primer ensayo que se hizo fue para comprobar la sensibilidad y precisión de la balanza; para esto se pasó un patrón de oxalato de calcio, el mismo con el que se había calibrado el TGA desde su última supervisión.

Una vez se conoció la exactitud de la balanza, se procedió a experimentar con el material de la investigación. Los análisis termogravimétricos del látex natural preservado llevados a cabo se presentan en la figura 4.

Los modos 1 y 2 fueron *pruebas exploratorias* y se aplicaron a un látex de reserva, que tenía un año de conservación con amoníaco; el método 3 es similar al segundo pero se empleó para caracterizar un látex nuevo (2 meses de preservación). Con el fin de evitar divergencias en los análisis que dificulten la comparación entre los métodos, principalmente por descomposición del látex durante su almacenamiento prolongado, este fue caracterizado de forma paralela, en el laboratorio, bajo las normas internacionales descritas en el siguiente párrafo.

**Figura 4.** Métodos experimentados con el látex natural preservado y látex seco por TGA



Las curvas resultantes fueron analizadas, y los datos a determinadas temperaturas y pérdidas de masa, se compararon con los valores medidos en el laboratorio, llevado a cabo según las normas convencionales [1].

### **2.3. CARACTERIZACIÓN CONVENCIONAL**

Esta etapa comprendió una caracterización del látex natural en el Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, bajo las normas ASTM D1076-10[1], estas incluyen los procedimientos convencionales de determinación de las propiedades escogidas para valorar.

#### **2.3.1. Contenido de sólidos totales**

Para determinar esta característica se pesó  $2,5 \pm 0,5$  g de látex natural en una caja petri y se esparció la muestra en la misma con 1 mL de agua destilada. Luego se llevó la muestra en la caja petri descubierta a un horno con ventilación de aire y se mantuvo durante 2 horas a una temperatura de  $100 \pm 2$  °C. Posteriormente se enfrió el látex seco en un desecador a temperatura ambiente y se pesó. El procedimiento de secado, enfriamiento y pesado se repitió hasta que se obtuvo un valor constante de peso.

El cálculo del porcentaje de los sólidos totales se realizó con la ecuación 1, seguidamente expresada:

$$\text{Sólidos Totales, \%} = [(C-A)/(B-A)] * 100 \quad (1)$$

Donde,

A = peso de la caja petri, g.

B = peso de la caja petri más la muestra original, g.

C = peso de la caja petri más la muestra seca, g.

### 2.3.2. Contenido de caucho seco

En este procedimiento se pesaron 10 g de látex natural en un plato de porcelana y se añadió agua destilada hasta que el *contenido de sólidos totales*, anteriormente medidos, llegara a un 25% en peso. Seguidamente se adicionó suficiente ácido acético (80 ml) al 2% en volumen, mientras se mantuvo una agitación constante durante 5 minutos. El recipiente con la muestra se dejó reposar a una temperatura de 75 °C en un horno ventilado un tiempo no mayor a 30 minutos. Después se recogió el látex coagulado, se lavó con agua destilada y se laminó hasta un grosor de 2 mm; la hoja de caucho se mantuvo a 65 °C en el horno ventilado hasta que pesó un valor constante. Este tiempo de secado llegó a durar hasta 36 horas, dependiendo del espesor de la lámina coagulada.

El cálculo del contenido de caucho seco se determinó con la ecuación 2, que se muestra a continuación:

$$\text{Contenido de Caucho Seco, \%} = \frac{\text{peso del coágulo seco}}{\text{peso de la muestra}} * 100 \quad (2)$$

Cada una de las pruebas descritas se efectuó dos veces y el promedio de estas fue tomado como resultado final.

### 2.3. CARACTERIZACIÓN POR FTIR

Para determinar los grupos funcionales presentes en el látex, se utilizó un Espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR), marca SHIMADZU, modelo FTIR – 84005.

Las muestras escogidas para caracterizar fueron:

- Látex coagulado, producto del procedimiento para determinar contenido de caucho seco.

- Látex seco, producto del procedimiento para determinar contenido de sólidos totales.
- Suero del látex, residuo acuoso del procedimiento para determinar contenido de caucho seco.
- Látex natural preservado.

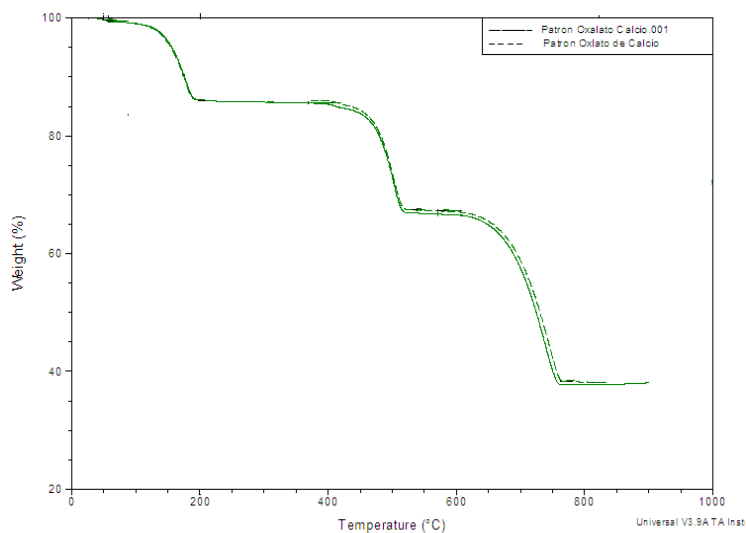
Las pruebas fueron realizadas en la Escuela de Ingeniería Química y los resultados se analizaron con la indicación de distintas fuentes bibliográficas de química orgánica instrumental y espectros FTIR del caucho natural registrados en la literatura.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1. DETERMINACIÓN DE EXACTITUD DEL TGA

Esta prueba se realizó en una atmósfera de nitrógeno a una rampa de calentamiento de 20°C/min desde 25 hasta 900°C. La figura 5 corresponde a la curva de termogravimetría de la prueba descrita.

**Figura 5.** Curva termogravimétrica de calibración para el TGA



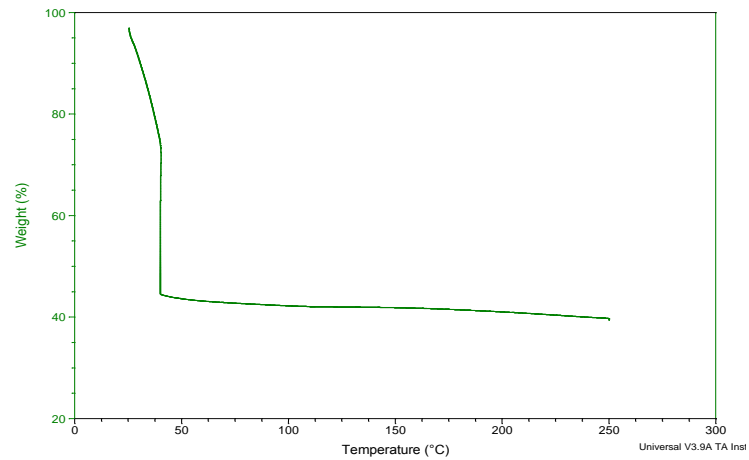
Según los datos arrojados por el software de la balanza, la diferencia producida entre la prueba de calibración y la muestra de verificación con el oxalato de calcio, fue de 0,36 % peso; este dato se tuvo en cuenta en el análisis de los resultados de TGA.

### 3.2. PRUEBAS EXPLORATORIAS EN EL TGA CON EL LÁTEX NATURAL

No existe información en la literatura sobre la caracterización por TGA de látex natural preservado, tan sólo se encuentra algunos trabajos de caracterización de látex seco o caucho natural por esta técnica[7] [9]. En consecuencia, se decidió realizar unas primeras pruebas exploratorias con el fin determinar la velocidad de calentamiento y la temperatura máxima necesaria para la descomposición total del látex natural.

La primera prueba exploratoria se realizó con la intención de ver una pérdida de masa a una temperatura inferior a la de ebullición del agua, que correspondería a los compuestos volátiles, constituyentes citados en las normas y en las primeras bibliografías consultadas [13]; esto explica la baja velocidad de calentamiento en este método (1 °C/min) y la isoterma aplicada a 40 °C. Posteriormente, la temperatura se mantuvo constante en 110 °C, esperando ver una nueva pérdida de masa debida a la eliminación del agua de la muestra en la balanza. Finalmente, se llevó la muestra hasta 250 °C y se mantuvo en esa temperatura durante 30 minutos para ver una disminución de peso, que indicaría el inicio de la degradación térmica del hidrocarburo, tal como se presume en el trabajo de Oliveira *et al* [7]. La figura 6 presenta la curva termogravimétrica resultante de este primer modo experimental.

**Figura 6.** Curva termogravimétrica de la prueba 1 con el látex natural preservado almacenado durante 1 año



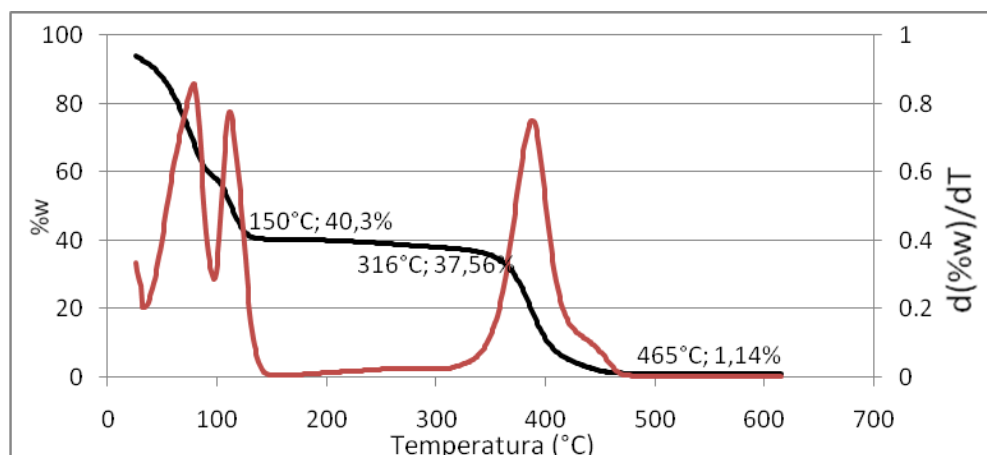
La curva termogravimétrica de esta primera prueba, mostró una considerable pérdida de peso a una baja temperatura (40°C); aunque es posible que se trate de la evaporación de los constituyentes volátiles es claro que no se debe a ellos solos ya que, de acuerdo a lo reportado en la literatura, estos no constituyen más del 1% del peso total de látex[3] [12]. Posiblemente, esta pérdida, de aproximadamente 47% en peso de muestra, corresponde a un fenómeno de secado donde, tanto el agua como los volátiles, son eliminados poco a poco a medida que la presión parcial de estos sobre la interfase formada entre el látex y la atmosfera de nitrógeno, es igual a la presión de equilibrio de vapor de estos en las condiciones de presión total de la balanza; el valor normal de la cantidad de agua en el látex natural mostrada en la tabla 1 confirma que efectivamente una pérdida así podría corresponder al compuesto agua y otros más o menos volátiles.

De otra parte, no se logró apreciar el inicio de la degradación del hidrocarburo reportada en la literatura a 220°C[7], esto posiblemente por realizar el ensayo con

el látex en una atmósfera inerte; a partir de tal motivo para la siguiente prueba se decidió llevar la muestra a una temperatura mayor.

La segunda prueba exploratoria se realizó sometiendo el látex natural preservado a un calentamiento desde 25 hasta 650°C a una velocidad de 5°C/min. La figura 7 muestra la curva termogravimétrica de esta prueba.

**Figura 7.** Curvas TG y DTG de la prueba 2 con el látex natural preservado y almacenado durante 1 año



En esta prueba se obtuvo una curva con tres pérdidas de peso, mostradas por la curva DTG; la primera se atribuye posiblemente a la pérdida de sustancias volátiles (VFA), la segunda al agua y la tercera, a la descomposición del hidrocarburo.

De acuerdo con la literatura, la tabla 3 muestra los puntos de ebullición de los ácidos carboxílicos que forman parte de las sustancias volátiles [13]. Esto confirma que la primera pérdida observada en la figura 7 puede corresponder efectivamente

a la volatilización de estos ácidos. Sin embargo, esta primera pérdida está acompañada de la evaporación del agua, la cual, como se observa en la curva TG, no es posible dissociarla de la eliminación de los ácidos. En consecuencia, se asume que la primera gran pérdida observada en la curva TG (correspondiente a los dos picos presentes en la DTG) es debida a la evaporación de los ácidos carboxílicos y del agua, lo cual se produce hasta aproximadamente 150°C.

**Tabla 3.** Propiedades físicas de ciertos componentes del látex natural

<b>SUSTANCIAS</b>		<b>Punto de fusión °C</b>	<b>Punto de ebullición °C</b>
VFA	Ácido fórmico		100,7
	Ácido acético		118,2
	Ácido propiónico		141,4
AZÚCARES	Galactosa	166	
	Sacarosa	160	
	Glucosa	110	
	Fructosa	95	
LÍPIDOS	Ácido oleico		232
	Ácido esteárico		160
	Ácido butírico		163
	Ácido palmítico		139
MINERALES	Sodio	97,87	883
	Magnesio	650	1090
	Calcio	842	1527
	Hierro	1535	2750

Datos tomados de varias fuentes bibliográficas [17] [18] [19]

Durante el tratamiento clásico del látex preservado, y particularmente en la identificación de la cantidad de sólidos totales, se busca principalmente obtener una muestra seca en un horno ventilado hasta lograr un peso constante.

En ese caso, es posible suponer que lo que queda de la muestra en la balanza termogravimétrica, luego de la pérdida de ácidos carboxílicos y agua, corresponde a la cantidad másica de látex seco, por consiguiente, parece posible calcular el porcentaje del *contenido de sólidos totales* (%TS) a partir de la pérdida de masa hasta 150°C del látex natural preservado utilizando TGA.

Por otro lado, la curva TG muestra una última pérdida de masa entre 316 y 465°C, la cual ocurre por la descomposición térmica del hidrocarburo del látex en un atmósfera de nitrógeno, de acuerdo a lo observado por Medeiros y Moreno[8][10]. El porcentaje en pérdida de masa correspondiente fue atribuido al *caucho seco* contenido en el látex natural (%DRC). La norma ASTM [1] hace diferencia entre la cantidad de sólidos totales en el látex y la cantidad de caucho seco (hidrocarburo) presente en él, lo que lleva a pensar que además del hidrocarburo existen otros “sólidos” o material “no caucho” presentes en el látex. La norma permite la determinación de la cantidad de caucho seco mediante la coagulación por ácidos del látex y su posterior secado en horno. En ese caso, es posible suponer que la última pérdida de masa, correspondiente a la degradación de hidrocarburo, equivaldría a la cantidad de caucho seco presente en la muestra.

El porcentaje másico restante después de 465°C y que permanece invariante ante el aumento de la temperatura corresponde al contenido de material inorgánico (no degradable) presente en la muestra de látex natural denominados en este trabajo como *contenido de cenizas*.

Entre 150 y 316°C existe una disminución leve de la masa en la curva termogravimétrica posiblemente atribuible a la eliminación de los ácidos grasos de mayor peso molecular, como lo son el butírico y el palmítico. De hecho, este porcentaje de pérdida de masa bastante bajo correspondería a la diferencia existente entre el porcentaje de sólidos totales y de caucho seco de un látex natural.

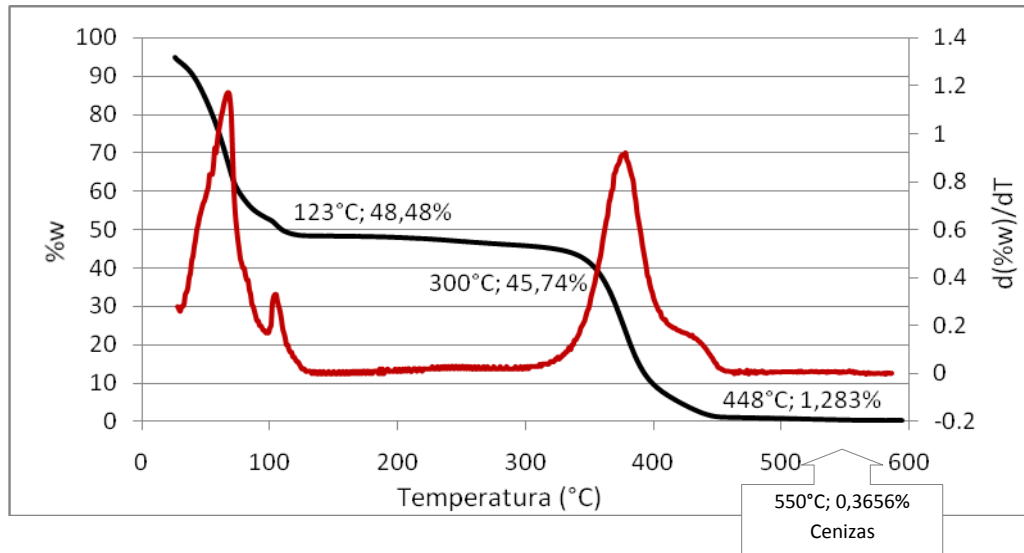
### **3.3. CARACTERIZACIÓN ALTERNATIVA DE LÁTEX NATURAL**

Los resultados obtenidos en la fase exploratoria fueron muy satisfactorios, pero para poder realizar un análisis comparativo de la cantidad de caucho seco y sólidos totales del látex natural preservado dadas por TGA y por los métodos convencionales (normas ASTM [1]), es necesario realizar estos dos protocolos de caracterización en paralelo, utilizando la misma materia prima, y especialmente, con el mismo tiempo de almacenamiento (igual grado de descomposición).

En la prueba 3 se utilizó látex natural preservado y almacenado durante 2 meses en nevera. Este fue sometido al protocolo de la prueba exploratoria 2, con la diferencia que el método de caracterización tiene un límite de temperatura más baja; decisión tomada porque la pérdida de peso después de 600°C es casi inexistente y no sería necesaria para llegar a determinar el contenido de cenizas; de hecho, en las normas ASTM [20] para cauchos provenientes de fuentes naturales, establecen valorar a 550°C el contenido de cenizas.

En la figura 8 se muestra la curva termogravimétrica resultante de la caracterización de látex por el método exploratorio 2.

**Figura 8.** Curvas TG y DTG de la caracterización del látex natural preservado y almacenado durante 2 meses.



En la curva TG del látex natural preservado se observaron las mismas pérdidas de masa de la curva termogravimétrica de la prueba 2.

En la tabla 5 se aprecian los valores de las propiedades caracterizadas por las dos formas de evaluación: la convencional y la alternativa. La caracterización convencional se realizó dos veces con el fin de asegurar la reproducibilidad de los resultados, y la desviación no fue mayor a 0,21% en peso.

Los datos registrados en la tabla corresponden al valor medio de cada propiedad para el caso de la caracterización convencional. El error de la balanza según lo observado en la prueba es de 0,36%. El porcentaje de error de cada propiedad entre las caracterizaciones alternativa y convencional se calculó para sus valores medios y se empleó la ecuación 3, donde se toma el valor convencional como un *valor real*; los datos se exponen en la tabla 4.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor exploratorio} - \text{Valor convencional}}{\text{Valor convencional}} * 100 \quad (3)$$

**Tabla 4.** Valores determinados por los dos tipos de caracterización

PROPIEDADES EVALUADAS	Caracterización Convencional	Caracterización alternativa	% Error
Contenido Sólidos Totales % m/m	47,14	48,48 ± 0,36	2,84
Contenido Caucho Seco % m/m	43,73 ± 0,21	44,46 ± 0,36	1,67

De la caracterización por TGA se obtuvieron valores para el contenido de TS que presenta un error de 2,84% con respecto al resultado obtenido por el método de la Norma ASTM [1] y a la vez se obtuvo un valor para el DRC con un error de 1,67% igualmente con respecto al resultado de la determinación convencional.

A partir de esto podría inferirse que se logró determinar el contenido de ST y de DRC por un método alternativo en 1 hora y ~ 55 minutos (22 a 34 horas menos que la forma clásica).

### 3.4. CARACTERIZACIÓN POR FTIR

Se determinó realizar una caracterización cualitativa del látex natural preservado con el fin de complementar la información obtenida a partir de TGA. Para tal fin se procedió a hacer un reconocimiento de grupos funcionales por FTIR, lo que permitió confirmar la existencia de ciertos constituyentes reportados en la literatura [12][13].

La diferencia entre el porcentaje de caucho seco y de sólidos totales corresponde a lo comúnmente denominado “sólidos no caucho”. En los análisis realizados para el caucho natural preservado, usando tanto TGA como las normas ASTM, se obtiene aproximadamente 3 a 4% de estos sólidos, sin que se sepa más sobre ellos.

Es de suponerse que el caucho seco contiene exclusivamente polímero de isopreno y que por lo tanto, los sólidos totales deben contener tanto el caucho seco como el 3-4% de “sólidos no caucho”. El espectro FTIR realizado sobre una muestra de caucho seco y sólidos totales obtenidos mediante los protocolos definidos por la norma ASTM es presentado en la figura 9. El análisis de los espectros respectivos podría permitirnos la identificación de sustancias proteicas y lipídicas además del poliisopreno.

Por otro lado, según la literatura[12][13]el látex natural preservado presenta, además del polímero de isopreno y de sustancias proteicas y lipídicas, otros compuestos como carbohidratos. Se puede suponer que si durante el desarrollo del protocolo de identificación de la cantidad de caucho seco, sugerido por las normas ASTM, el polímero de isopreno y algunas proteínas y lípidos irán a conformar el total de caucho seco, entonces los carbohidratos y otras sustancias proteicas deberían quedar en la fase acuosa llamada en este trabajo “suero acuoso de látex”. Los espectros FTIR del suero acuoso de látex y del látex natural preservado son presentados en la figura 10.

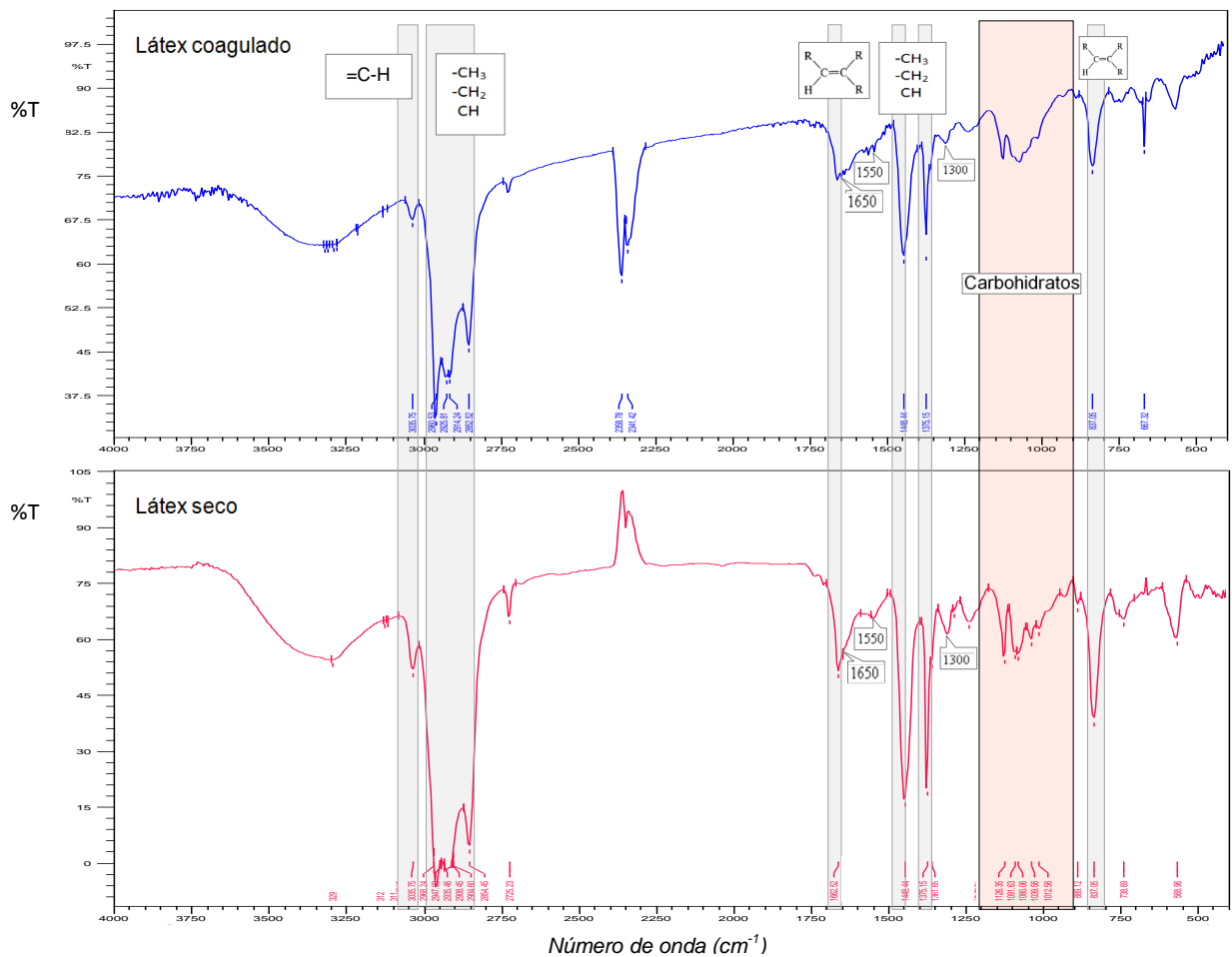
#### **3.4.1. Caracterización por FTIR de látex coagulado y látex seco**

La figura 9 presenta los espectros FTIR del látex coagulado y el látex seco, que se acomodaron de manera continua por tener unos picos similares y otros complementarios.

Ambos espectros mostraron los picos que identifican el polímero del isopreno: en 837,05 y 1647,10  $\text{cm}^{-1}$  aparecen respectivamente, dos picos debidos al

estiramiento C=C y la flexión fuera del plano CH [21] [22] del alquenotrisustituído que está presente en la estructura del polímero; además aparecen las bandas que identifican las diferentes respuestas de los enlaces C-H de alcanos y alquenos a la radiación infrarroja, como es notado en la figura referida.

**Figura 9.** Espectro FTIR del látex coagulado y látex seco (% Transmitancia y Número de onda)



La estructura de las sustancias lipídicas consta de una cadena hidrocarbonada lineal  $-(CH_2)_n-$  unida a un grupo carboxílico C=O [23] cuyas bandas de absorción

están en las regiones  $730 - 710 \text{ cm}^{-1}$  y  $1725 - 1700 \text{ cm}^{-1}$ , respectivamente [24] [25], y ningún pico de los espectros coincidió en dichos espacios; la no detección de estos grupos funcionales puede ser debida al bajo porcentaje de estas especies en el látex coagulado y en el látex seco.

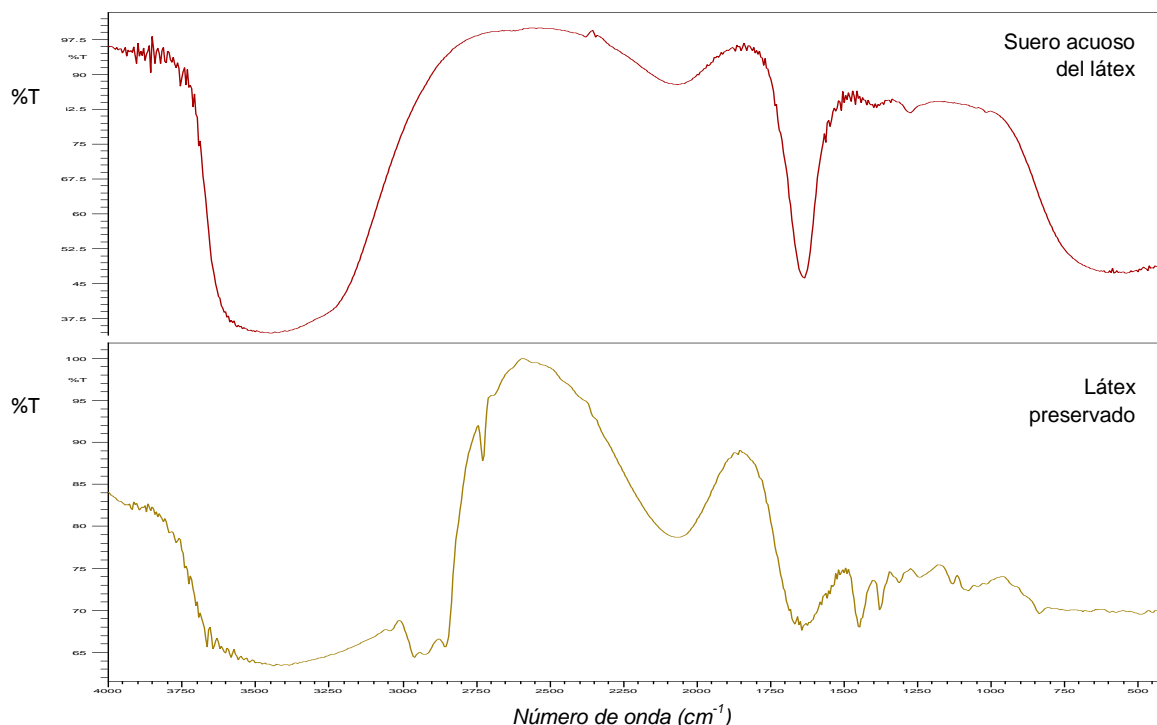
El espectro infrarrojo de sustancias proteicas contiene varias bandas de absorción, llamadas comúnmente “bandas amida”, donde las más características son las amida A ( $3300 \text{ cm}^{-1}$ ), amida B ( $3100 \text{ cm}^{-1}$ ) y amidas I ( $1650 \text{ cm}^{-1}$ ), II ( $1550 \text{ cm}^{-1}$ ) y III ( $1300 \text{ cm}^{-1}$ ) [26]. En los espectros FTIR del látex coagulado y látex seco se presentan los sobretonos correspondientes a las bandas de amidas I, II y III y así ratificar la existencia de prótidos en los látex coagulado y seco. Dichos picos son suaves en las dos muestras y un poco más acentuados en el espectro del látex seco; este resultado es lógico si se tiene en cuenta que sólo un cuarto de los prótidos del látex preservado se encuentran en el látex coagulado [13], mientras que en el látex seco estaría presente el total de las proteínas, indicando una mayor concentración de ellas.

El espectro de infrarrojo medio de carbohidratos como la glucosa, fructosa y sacarosa se registra entre  $1200$  y  $900 \text{ cm}^{-1}$ , región donde cada banda de absorción involucra más de una vibración ó movimiento y no puede ser fácilmente asignada a un grupo funcional específico [27]; los resultados FTIR del látex seco y coagulado muestran unos sobretonos en dicha región, que podrían corresponder a bandas generadas por la presencia de hidratos de carbono.

#### **3.4.2. Caracterización por FTIR de suero acuoso de látex y de látex preservado**

En la figura 10 se observan los espectros analizados por FTIR que fueron aplicados a la fase dispersante del látex y al látex natural preservado.

**Figura 10.** Espectro FTIR del suero acuoso del látex y de látex preservado (% Transmitancia y Número de onda)



Los espectros obtenidos de la última prueba infrarrojo por transformada de Fourier dieron como resultado una gran cantidad de agua, con sus sobretonos característicos en  $3414\text{ cm}^{-1}$  por el estiramiento del enlace OH,  $2140\text{ cm}^{-1}$  por flexión tijera y balanceo, y  $1642\text{ cm}^{-1}$  por flexión del enlace OH [28]; los picos citados solaparon las bandas funcionales de otras sustancias en la muestra, impidiendo la caracterización del suero y del látex preservado por este método. Aunque otras técnicas de análisis son accesibles a este tipo de caracterización, como es el caso de la cromatografía líquida (HPLC), no fue posible su utilización por razones técnicas ajenas al estudio.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente estudio determinó de manera satisfactoria un método de caracterización alternativo de látex natural preservado utilizando TGA. El análisis comparativo mostró un error de 2,84% en los valores promedio obtenidos para el contenido de sólidos totales y de 1,67% para el contenido de caucho seco, entre el método propuesto en este trabajo y los obtenidos utilizando los métodos estandarizados por la norma ASTM [1] para las propiedades del látex natural.

Se consiguió disminuir el tiempo empleado para la determinación del contenido de ST y DRC, empleando finalmente 1 hora y ~ 55 min en la prueba realizada en la balanza termogravimétrica.

Se determinó por FTIR la composición cualitativa aproximada del látex coagulado y del látex seco, identificándose para los dos, bandas funcionales del poliisopreno, proteínas y carbohidratos. Igualmente no se encontró presencia de ácidos grasos en estas dos muestras, quizás, por su baja concentración en ellas.

No es posible la realización del análisis por FTIR de muestras acuosas de látex natural debido a la presencia de una gran cantidad de agua lo que solapó los posibles picos de otras especies en regiones cercanas a 3414, 2140 y 1642  $\text{cm}^{-1}$ .

## 5. RECOMENDACIONES

Destinar el método convencional propuesto a una validación y si esta lo consideraviable, a una posterior implementación.

Desarrollar un método de extracción de los posibles ácidos grasos volátiles y ácidos grasos de cadena larga presentes en el látex natural con el fin de analizar estos extractos por un cromatógrafo de gases (CG-MS ).

Realizar un análisis del suero acuoso del látex preservado obtenido después de coagulación utilizando cromatografía líquida (HPLC) con el fin de identificar carbohidratos presentes en el látex, de una manera más precisa y definida.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Specification for Rubber - concentrated, ammonia preserved, creamed and centrifuged natural latex. Designation: D1076 – 10.

[2] BODE. H.; KERKHOFF.K.; JENDROSSEK.D.. “Bacterial Degradation of Natural and Synthetic Rubber”. En: American Chemical Society, 2 (1), 2001, pp 295 – 303.

[3] FORERO. Laura., VARGAS. Viviana. “*Estudio para mejorar el proceso de beneficio del látex del caucho natural producido en Santander*”. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1999.

[4] SANTIPANUSOPON. S.; RIYAJAN. S. “Effect of field natural rubber latex with different ammonia contents and storage period on physical properties of latex concentrate, stability of skim latex and dipped film”. En: Physics Procedia, Vol 2, edición 1, Julio 2009, pp 127 – 134.

[5] WHITE. J. R. *Rubber technologist's handbook*. Rapra technology Ltd., Reino Unido, 2001, p 11 – 45.

[6] COMPAGNON. Patrice. *Le caoutchouc naturel: Biologie, cultura, production*. Maisonneuve&Larose, Francia, 1986, p 347, 401.

[7] OLIVEIRA de, L. C. S.; de ARRUDA, E. J.; da COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. S.; DELBEN, A.. “Evaluation of latex from Five *Hevea* clones grown in São Paulo State, Brazil”. En: Thermochimica Acta, Vol. 398, Number1, Marzo 2003, p 259 – 263.

[8] MEDEIROS de, E. S.; MORENO, R. M. B.; FERREIRA, F. C.; ALVES. N.; JOB, A. E.; GONÇALVES, P. S. y MATTOSO, L. H. C.. “Thermogravimetric studies of the decomposition kinetics of four different hevea rubber clones using Ozawa's

approach". En: Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, Vol. 19, Number 4, 2003.

[9] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Test Method for Rubber – Compositional Analysis by Thermogravimetry (TGA). Designation: D6370 – 99.

[10] MORENO, R. M. B.; MEDEIROS de, E. S.; FERREIRA, F. C.; ALVES, N.; GONÇALVES, P. S. y MATTOSO, L. H. C.. "Thermogravimetric studies of decomposition kinetics of six different IAC Hevea rubber clones using Flynn-Wall-Ozawa approach". En: Plastics, rubber and composites. Vol. 35, Number 1, February 2006, p. 15-21.

[11] LI. S. D.; YU. H. P.; PENG. Z.; ZHU. C. S. y LI. P. S. "Study on Thermal Degradation of Sol and Gel of Natural Rubber". En: Journal of Applied Polymer Science, Vol. 75, 2000, pp 1339 – 1344.

[12] Le BRAS. Jean. *Fundamentos de ciencia y tecnología del caucho*. Editorial Gustavo Gili, S.A., España, 1960, p 53 – 72.

[13] BLACKLEY. D. C. *Polymer Latices: Science and Technology. Volume 2, Types of Latices*. Chapman & Hall, Reino Unido, 1997, p 78 – 114.

[14] MORRISON. R. T., BOYD. R. N. *Química Orgánica*. Editorial Addison Wesley Longman, México, 1998, p 1233.

[15] WARSHAW. E.. "Latex allergy". En: Journal of the American Academy of Dermatology", Vol. 39, N° 1, Julio 1998, pp 1 – 24.

[16] HAMILTON. R. "Diagnosis of natural rubber latex allergy". En: Journal of Allergy and Clinical Immunology, Vol. 110, edición 1, agosto 2002, pp S47 – S56.

[17] WELCHER. F. *Organic Analytical Reagents*. Editorial Van Nostrand Company, Estados Unidos, 1948.

- [18] FEISER. L., FEISER. M. *Química Orgánica*. Editorial Grijalbo S.A., México, 1965, p 480.
- [19] SOLOMONS. T.W., FRYHLE. C. *Organic Chemistry*. Editorial John Wiley&Sons, Estados Unidos, 1988, p 1073.
- [20] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Test Methods for Rubber from Natural Sources - Chemical Analysis. Designation: D1278 – 91a (Reapproved 2007).
- [21] SILVERSTEIN. R., WEBSTER. F. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Editorial John Wiley&Sons, Inc., Estados Unidos, 1998, p 71 – 143.
- [22] CEAUȘESCU. E. *La polimerización estereoespecífica del isopreno*. DR. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Publicaciones, México, 1984, p. 137 – 139.
- [23] PRIMO. Eduardo. *Química Orgánica Básica y Aplicada: De la molécula a la industria, Tomo II*. Editorial Reverté, España, 2007, p 927 – 929.
- [24] “Tablas IR”. Universidad Autónoma de México. Consultada el 1 de Julio de 2011. Disponible: [http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR\\_15437.pdf](http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR_15437.pdf)
- [25] ALLINGER. Norman. *Química Orgánica*. Editorial Reverté, España, 1984, p 287 – 304.
- [26] “Espectroscopía de Infrarrojo FTIR”. Universidad Miguel Hernán, España. Consultada el 3 de Agosto de 2011. Disponible: [http://shaker.umh.es/Docencia/Espectroscopia\\_de\\_infrarrojo\\_doctorado.swf](http://shaker.umh.es/Docencia/Espectroscopia_de_infrarrojo_doctorado.swf).
- [27] ROBERT, P.; DEVAUX, M.F.; QANNARI, A. y SAFAR, M. “Mid and near infrared study of carbohydrates by canonical correlation analysis”. En: *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. Vol. 1, Number 1, 1993, p. 99.

[28] "Water Structure and Science: Water Absorption Spectrum". Martin Chaplin BSc PhD CChem FRSC.Consultada el 18 de Julio de 2011. Disponible: <http://www.lsbu.ac.uk/water/vibrat.html>

## BIBLIOGRAFÍA

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Specification for Rubber - concentrated, ammonia preserved, creamed and centrifuged natural latex. Designation: D1076 – 10.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. Standard Test Method for Rubber – Compositional Analysis by Thermogravimetry (TGA). Designation: D6370 – 99.

BLACKLEY, D. C. *Polymer Latices: Science and Technology. Volume 2, Types of Latices*. Chapman & Hall, Reino Unido, 1997, p 78 – 114.

Le BRAS, Jean. *Fundamentos de ciencia y tecnología del caucho*. Editorial Gustavo Gili, S.A., España, 1960, p 53 – 72.

MEDEIROS de, E. S.; MORENO, R. M. B.; FERREIRA, F. C.; ALVES, N.; JOB, A. E.; GONÇALVES, P. S. y MATTOSO, L. H. C.. “Thermogravimetric studies of the decomposition kinetics of four different hevea rubber clones using Ozawa’s approach”. En: *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, Vol. 19, Number 4, 2003.

MORENO, R. M. B.; MEDEIROS de, E. S.; FERREIRA, F. C.; ALVES, N.; GONÇALVES, P. S. y MATTOSO, L. H. C.. “Thermogravimetric studies of decomposition kinetics of six different IAC Hevea rubber clones using Flynn-Wall-Ozawa approach”. En: *Plastics, rubber and composites*. Vol. 35, Number 1, February 2006, p. 15-21.

OLIVEIRA de, L. C. S.; de ARRUDA, E. J.; da COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. S.; DELBEN, A.. “Evaluation of latex from Five *Hevea* clones grown in São Paulo State, Brazil”. En: *Thermochimica Acta*, Vol. 398, Number 1, Marzo 2003, p 259 – 263.

## ANEXOS

### ANEXO A. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO PARA DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES (ASTM D1076 – 10)

#### 1.1. Definición

El número de ácidos grasos volátiles es el número de gramos de hidróxido de potasio (KOH) requerido para neutralizar los ácidos grasos volátiles en una muestra de látex de 100 g de sólidos totales.

#### 1.2. Aparatos requeridos

- Destilador Semi-Micro de Markham
- Microbureta, 10 cm<sup>3</sup>
- Generador de vapor que consiste en un matraz de 2 a 3 dm<sup>3</sup> y un plato de calentamiento con control de temperatura.

#### 1.3. Reactivos

- Solución de Sulfato de Amonio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, (350 kg/m<sup>3</sup>)
- Solución de Hidróxido de Bario Ba(OH)<sub>2</sub> (0,01 mol)
- Indicador Azul de Bromotimol (10 g/dm<sup>3</sup>)
- Material antiespumante tipo silicona
- Ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2:5)

#### 1.4. Procedimiento

- Adicionar 50 cm<sup>3</sup> de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 50 ± 0,2 g de látex concentrado en un vaso de 250 cm<sup>3</sup> y agitar con una varilla de vidrio. Sumergir el vaso en un baño de agua a ~ 70°C durante 3 a 5 minutos para coagular el látex. Filtrar el suero a través de un papel de filtro sobre un Erlenmeyer de 50 cm<sup>3</sup>.

Exprimir el coágulo con una varilla de vidrio para remover el suero restante.  
No lavar el filtrado.

- Pipetear 25 cm<sup>3</sup> del suero filtrado dentro de un segundo matraz de 50 cm<sup>3</sup>. Pipetear 5 cm<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(2:5) dentro del matraz. Tapar y mezclar.
- Purgar el destilador pasando vapor a través de él durante un periodo de 15 minutos y vaciar la cámara interior del destilador por el efecto sifón.
- Abrir el suministro de vapor al destilador y cerrar la abertura de ventilación del generador de vapor. Pipetear 10cm<sup>3</sup> de suero acidificado junto con una gota de material antiespumante tipo silicona dentro de la cámara y remover el tapón de vidrio. Situar un cilindro graduado de 100 cm<sup>3</sup> debajo del condensador para recoger el destilado y cerrar la parte inferior del drenaje lentamente. Ajustar el flujo de vapor para producir un destilado a una velocidad de 3 a 6 cm<sup>3</sup>/min, y coleccionar 100 cm<sup>3</sup> de este. Airear el destilado con aire libre de CO<sub>2</sub>. Adicionar una gota de azul de bromotimol y valorar rápidamente con solución Ba(OH)<sub>2</sub>(0,01 mol) hasta llegar a un color azul que persista durante 10 a 20 minutos para luego tornar a verde. *Nota. Usar agua destilada en el generador de vapor.*

### 1.5. Cálculos

$$\# \text{ VFA} = \frac{AM \times 561}{W} \text{ TS}$$

Donde,

A: Centímetros cúbicos de solución Ba(OH)<sub>2</sub> requeridos para la valoración de la muestra.

M: Moles de solución Ba(OH)<sub>2</sub>

W: Masa de látex correspondiente a 10 cm<sup>3</sup> de suero acidificado

TS: Porcentaje de sólidos totales en el látex

$$W = \frac{50 \times 25}{(50 + S \times 3)}$$

Donde,

50: Gramos de látex pesados

25: Centímetros cúbicos de suero utilizado

50 + S: Centímetros cúbicos de solución  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  más los centímetros cúbicos de suero en 50 g de látex

3: Proporción 30/10, donde 30 es igual a  $25 \text{ cm}^3$  de suero filtrado más  $5 \text{ cm}^3$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 10 es igual a la alícuota de  $10 \text{ cm}^3$ .

$$S = \frac{(100 - \text{DRC})}{(1,02 \times 2)}$$

Donde,

DRC: Porcentaje de contenido de caucho seco del látex

1,02: Gravedad específica del suero

**ANEXO B. OTRAS PROPIEDADES INCLUIDAS EN LAS NORMAS ASTM D1076**  
– 10

- Contenido de Proteínas
- Alcalinidad Total
- Viscosidad
- Contenido de sedimentos
- Número de KOH
- pH
- Estabilidad mecánica
- Cobre y manganeso
- Ácido bórico