

Análisis termogravimétrico como un nuevo método para la determinación de contenido de sólidos totales (CST) y caucho seco (CCS) del látex natural

Thermogravimetric analysis as a new method to determine of total solid content (TSC) and dry rubber content (DRC) of natural latex

Angélica Patricia Cáceres Sandoval; Paola Gauthier-Maradei*

INTERFASE/Escuela de Ingeniería Química/Universidad Industrial de Santander, Cra 27 cll 9, Ciudad Universitaria, Bucaramanga (Colombia)

* mapaomar@uis.edu.co, tel (57) 76 34 4000 (ext 2526)

Fecha Recepción: 7 de abril de 2012
Fecha Aceptación: 3 de diciembre de 2012

Resumen

El látex de caucho natural es la materia prima para la fabricación de diversos elementos utilizados en la industria y la calidad de ellos está ligada a la composición del látex fresco preservado. La norma ASTM D1076 presenta un método para la determinación del CST, CCS y Ácidos Grasos Volátiles (AGV), entre otras propiedades, para el látex natural; este método resulta ser largo y tedioso, por tal razón se busca una forma de caracterización del látex natural que ahorre tiempo y facilite su obtención. El objetivo de este trabajo es determinar el CST, CCS y AGV en el látex natural por termogravimetría. Para esto se sometieron muestras de látex natural a análisis termogravimétrico bajo una atmósfera inerte y los resultados fueron comparados con los obtenidos en los métodos señalados por las normas ASTM D1076, lográndose finalmente un método de caracterización viable con una varianza entre los dos métodos de 0,45 para los valores obtenidos de CST y una varianza entre los dos métodos de 0,13 para el CCS comparado con los valores obtenidos en las condiciones dadas por la norma. Por otra parte, no fue posible determinar el contenido de AGV por termogravimetría pues la pérdida de masa de estas sustancias se encuentra en el mismo intervalo de temperatura del agua. Adicionalmente, se realizó una caracterización cualitativa por FTIR de 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.

Palabras clave: ATG, ASTM D1076, *Hevea Brasiliensis*, caucho natural.

Abstract

Natural rubber latex is the raw material for the manufacture of various products used in the industry and the quality of them is associated to the composition of fresh latex preserved. ASTM D1076 presents a method for the determination of TSC, DRC and VFA, among other natural rubber latex properties. This method turns out to be long and tedious, therefore it is looking for a way to characterize the natural latex to save time and to easy operation. The aim of this study is to determine the TSC, DRC and VFA in the natural latex by thermogravimetry. In order to achieve this objective, latex samples were submitted to thermogravimetric analysis under an inert atmosphere and the results were compared with those obtained in the methods described by ASTM D1076, achieving a viable method of characterization for the determination of TSC and DRC with an variance between two methods of 0.45 from the values obtained for TSC and an variance between two methods of 0.13 for DRC compared with the obtained at ASTM conditions. In the other hand, it was not possible to determine the VFA content by thermogravimetry because the mass loss of these compounds occurs in the same temperature range than the water. Additionally, a qualitative characterization by FTIR of the dense phase and the aqueous natural rubber was performed, which allowed the identification of functional groups corresponding to polyisoprene, proteins and carbohydrates in the dense phase of the latex.

Keywords: TGA, ASTM D1076, *Hevea Brasiliensis*, natural rubber.

Introducción

En su estado natural el caucho se presenta en suspensión coloidal en el látex. En la naturaleza existe un gran número de plantas que producen látex, las que pertenecen principalmente a las familias Moracea, Euforbiacea, Caricacea y Sapotacea, entre otras de menor importancia. Sin embargo, el mayor productor de látex tanto en cantidad como en calidad es un árbol perteneciente a la familia Euforbiacea conocido científicamente como *Hevea Brasiliensis* [1].

El látex preservado es aquel que ha sido sometido a un tratamiento con agentes químicos para mantener su pH en valores próximos al neutro evitando así su coagulación espontánea bajo la acción de ciertos microorganismos o de enzimas los cuales actúan cuando el pH es ácido [2-5].

Según el tipo de tratamiento y beneficio, el caucho natural se puede obtener en el mercado en diferentes presentaciones y calidades. El látex puede ser preservado y concentrado para ser comercializado como "látex natural preservado" (en estado líquido) o coagulado y transformado para ser vendido como "caucho" en estado sólido. En el caso del caucho líquido, éste es usado en la industria en diversas aplicaciones como materia prima para la manufactura de un gran número de productos. Actualmente se comercializa de dos formas, como látex normal preservado y látex concentrado.

El CST, CCS, AGV, porcentaje de alcalinidad, entre otros, son propiedades muy relevantes para clasificar un caucho o un látex natural preservado en cuanto a su calidad y posible utilización como materia prima en la industrial del caucho. La caracterización de estas propiedades se encuentra sintetizada en las normas ASTM D1076 [6] que indican procedimientos largos, en donde la muestra es sometida a diferentes tratamientos térmicos en hornos. El tiempo de estos tratamientos es controlado por medio de la medición constante del peso de la muestra; cuando la pérdida de peso es despreciable (criterio definido por la norma) entonces se da por terminado el tratamiento.

El uso del Análisis Termo-Gravimétrico (ATG) en el seguimiento de descomposiciones de compuestos orgánicos ha sido muy utilizado en los últimos tiempos. Se distingue por ejemplo trabajos con residuos agrícolas lignocelulósicos u otros tipos de desechos como llantas usadas, plásticos de desecho, combustibles de rechazo tipo fuel, entre

otros, en donde el fin es la caracterización por componentes de estos materiales [6 – 9].

Algunos estudios reportados en la literatura [10-15] tratan de la descomposición térmica del látex seco pero no se registra ATG del látex natural preservado. El látex seco es aquel que ha sido sometido a un secado sin que por tanto haya existido coagulación. Se destaca, por ejemplo, la caracterización de membranas de látex natural por medio de las técnicas TG-TGD (termogravimetría – termogravimetría diferencial) y DSC (calorímetro diferencial de barrido), realizada en Brasil [11], en el cual 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 (cis-1,4 poliisopreno) se muestra entre 220 y 530°C. La presencia de material existente por encima de 900°C es considerado como cenizas o impurezas.

Por otro lado, Moreno *et al.* [13] reportan un estudio de la descomposición térmica del látex seco bajo distintas velocidades de calentamiento utilizando ATG en atmósfera de nitrógeno. En este se constata que la descomposición es independiente de la velocidad de calentamiento bajo condiciones inertes, diferente a lo observado por Li *et al.* [10] que trabajaron bajo oxígeno provocando una aceleración de la descomposición.

Así mismo, la norma ASTM D6370 – 99 [16] define un procedimiento para la caracterización termogravimétrica del caucho de origen natural proporcionando información sobre la cantidad de materia orgánica (aceites y polímeros), carbón negro y cenizas en compuestos de caucho.

Si se desea tener una idea previa del comportamiento termogravimétrico del material es necesario conocer la composición química de éste. Sin embargo, se conoce poco sobre la composición del látex natural ya que sus constituyentes varían con las condiciones climáticas a las que están expuestos los árboles, así como con la etapa del ciclo biológico por el que estén pasando. Documentos como el reportado por Le Bras [17] muestra la composición promedio de una gran parte del látex proveniente del *Hevea Brasiliensis*. La Tabla 1 muestra una constitución promedio del látex fresco, 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. Esta composición es concordante por la presentada por N. M. Mathew [18].

Tabla 1. Composición del látex natural según Le Bras [17].

CONSTITUYENTE	% en peso
Agua	52 – 70
Hidrocarburo caucho	27 – 40
Prótidos	1,5 – 2,8
Sustancias solubles en acetona: resinas	1,0 – 1,7
Azúcares	0,5 – 1,5
Materias minerales	0,2 – 0,9

Existen pocos estudios de caracterización completa del caucho natural. Dentro de los estudios focalizados esta el realizado por Mekkiengkrai *et al.* [19] quienes muestran la viabilidad del uso de espectroscopia de RMN ^1H y ^{13}C para el análisis del caucho proveniente de Jaca (*Artocarpus Heterophyllus*). Los autores constatan que el caucho está compuesto por un grupo dimethylallyl y dos unidades de trans-isopreno conectados en una secuencia larga de unidades cis-isopreno. Otros trabajos presentados en la literatura usan espectroscopia de IR Próximo para la determinación del contenido de caucho en el *Hevea Brasiliensis* [20] o espectroscopia de RMN ^1H para la caracterización de proteínas o fosfolípidos, asociados al látex natural, de manera indirecta puesto que primero realizan procesos de aislamiento de las moléculas antes de caracterizarlas [21]. Sin embargo, en la literatura no se reporta análisis completos de componentes presentes en el caucho, en el látex natural preservado y en el látex seco.

El objetivo de este estudio es determinar un nuevo y rápido protocolo de caracterización del látex natural para la determinación de CST, CCS y cenizas por medio de ATG así como la identificación de los componentes principales presentes en el látex natural, látex seco, el látex coagulado y el suero del látex.

Parte experimental

Materiales y Reactivos

Las muestras de látex natural preservado fueron proporcionadas por la empresa Procaucho S.A. de Colombia. Se trata de muestras de látex de *Hevea Brasiliensis* recolectado en la región de Puerto Wilches (Santander, Colombia) homogeneizado y preservado con amoniaco.

Caracterización por ATG

Para la realización del análisis termogravimétrico se utilizó una balanza termogravimétrica TGA 2050 de la marca TA Instruments, que tiene una exactitud de $\pm 0,1\%$ peso. Las pruebas fueron llevadas a cabo en un portamuestras de platino y bajo una atmósfera de nitrógeno (grado 4,8 de Cryogas S.A.) cuyo flujo fue de $45 \text{ cm}^3/\text{min}$. La velocidad de calentamiento fue de $5^\circ\text{C}/\text{min}$ desde 25 hasta 600°C .

Caracterización por gravimetría (norma ASTM 1076)

Igualmente, y para efectos de comparación, se realizó la caracterización de las muestras de látex preservado definida en la norma ASTM D1076, determinándose para ello el CST, CCS y cenizas [10]. Esta caracterización se realizó dos veces con el fin de asegurar la reproducibilidad de los resultados garantizándose una desviación no mayor de $0,15\%$ para el CST y de $0,2\%$ para el CCS como lo determina la norma. El procedimiento que se siguió se presenta brevemente a continuación.

Determinación de CST. Para determinar esta característica se pesó $2,5 \pm 0,5\text{g}$ de látex natural en un portamuestras y se esparció la muestra en la misma con 1cm^3 de agua destilada. Luego se llevó el portamuestras descubierto a un horno con ventilación de aire y se mantuvo durante 2h a una temperatura de $100 \pm 2^\circ\text{C}$. 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 CST se obtiene del cociente entre la medida de peso obtenida al final del proceso de secado y el peso de la muestra de látex inicial por cien. Cada una de las pruebas descritas se efectuó dos veces y el promedio de estas fue tomado como resultado final.

Determinación del CCS. En este procedimiento se pesaron 10g 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 al $2\%v$ (grado analítico Puriss, $80\%v$), mientras se mantuvo una agitación constante

durante 5 min. El recipiente con la muestra se dejó reposar a una temperatura de 75°C en un horno ventilado, un tiempo no mayor a 30min. Después se recogió el látex coagulado, se lavó con agua destilada y se laminó hasta un grosor de 2mm; la hoja de caucho se mantuvo a 70°C en el horno ventilado hasta que pesó un valor constante. Este tiempo de secado llegó a durar hasta 36h, dependiendo del espesor de la lámina coagulada.

El CCS corresponde al cociente entre el peso del coágulo seco obtenido al final del proceso de secado y el peso de la muestra de látex inicial. Cada una de las pruebas descritas se efectuó dos veces y el promedio de estas fue tomado como resultado final.

Caracterización por Espectrofotometría de IRTF (Infrarrojo con Transformada de Fourier)

Finalmente se realizó una caracterización cualitativa del látex natural con el fin de complementar la información obtenida por

ATG. Para tal fin se procedió a hacer un reconocimiento de grupos funcionales por IRTF, lo que permitió confirmar la existencia de ciertos constituyentes reportados en la literatura [17, 22]. El equipo utilizado fue un espectrofotómetro de IRTF marca SHIMADZU, modelo IRTF – 84005. Las muestras caracterizadas fueron: látex coagulado, látex seco, suero del látex y látex natural preservado.

Resultados y Discusión

Caracterización de látex natural preservado

La Figura 1 presenta el análisis termogravimétrico del látex natural preservado. El análisis TGD permite observar la existencia de 3 pérdidas de masa; la primera entre el rango de 30 a 95°C aproximadamente, la segunda de 95 a 135°C y una última de 300 a 465°C. Las dos primeras están ligadas posiblemente a la pérdida de AGV en compañía del agua y la tercera a la descomposición del hidrocarburo.

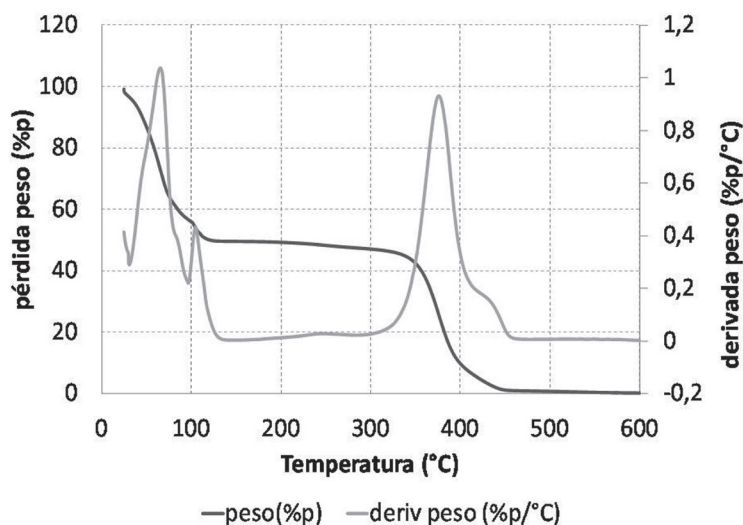


Figura 1. Curvas TG y DTG de la caracterización del látex natural preservado.

La Figura 2 presenta el análisis termogravimétrico para el caucho seco obtenido del látex natural preservado siguiendo la norma ASTM D1076, en la cual el látex inicialmente coagulado con ácido acético (2%v) es sometido en un horno ventilado hasta obtener peso constante. La curva TGD del látex seco muestra que su

degradación se produce dentro del rango de temperatura de 300 a 450°C, de acuerdo a lo observado igualmente por Medeiros [12] y Moreno [13] y permitiendo confirmar que la tercera pérdida de masa observada en el ATG del látex natural preservado (ver Figura 1) corresponde a la degradación del hidrocarburo.

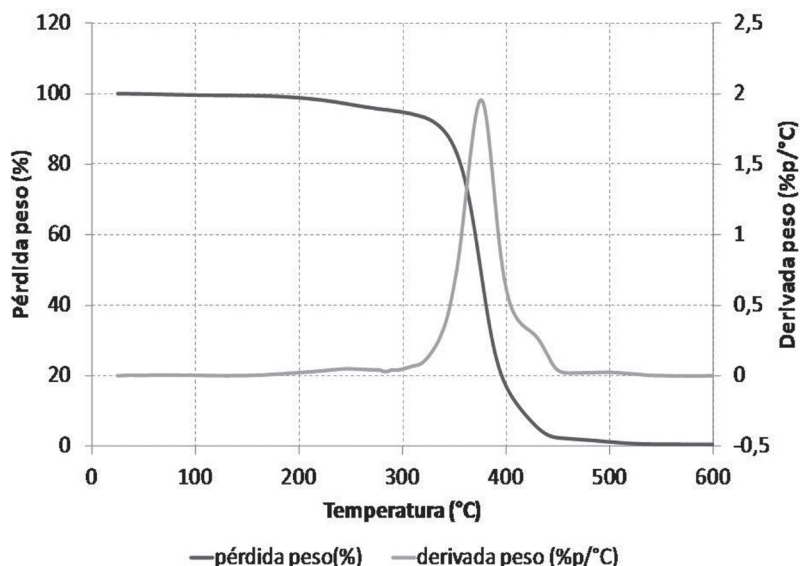


Figura 2. Curvas TG y TGD de la caracterización del látex seco

Según Blackey [22] la fase dispersa del caucho está conformada mayoritariamente de cis-isopreno (86%p) además de cantidades menores de sustancias proteicas (1%p), lipoides (3%p) y agua (10%p). La Figura 3 presenta el espectro IRTF del látex seco, el cual confirma la presencia del hidrocarburo en esta muestra. En la figura, el espectro muestra los picos representativos del

polímero del isopreno: en 837,05 y 1647,10 cm^{-1} que son respectivamente, los picos debidos al estiramiento C=C y la flexión fuera del plano CH del alqueno trisustituído que está presente en la estructura del polímero [26, 27]. Además aparecen las bandas que identifican las diferentes respuestas de los enlaces C-H de alcanos y alquenos a la radiación infrarroja.

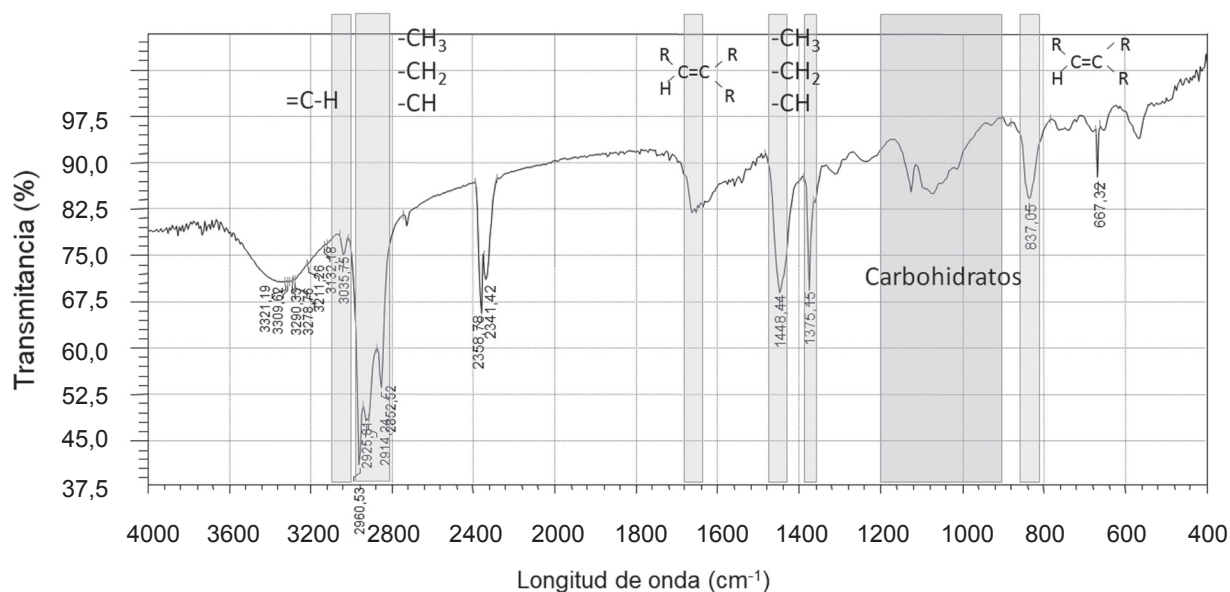


Figura 3. Espectro IRTF del látex coagulado y látex seco (%Transmitancia y longitud de onda)

La estructura de las sustancias lipídicas consta de una cadena hidrocarbonada lineal $-(CH_2)_n-$ unida a un grupo carboxílico $C=O$ [17] cuyas bandas de absorción están en las regiones $730 - 710\text{ cm}^{-1}$ y $1725 - 1700\text{ cm}^{-1}$, respectivamente [29, 30], 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 la amida A (3300 cm^{-1}), amida B (3100 cm^{-1}) y amidas I (1650 cm^{-1}), II (1550 cm^{-1}) y III (1300 cm^{-1}) [29]. En el espectro IRTF del látex seco se presentan los picos correspondientes a las bandas de amidas I, II y III ratificando la existencia de prótidos en el látex seco. Dichos picos son ligeramente acentuados en el espectro del látex seco; este resultado es lógico si se tiene en cuenta que en el látex seco estaría presente el total de las proteínas [22]. El espectro infrarrojo medio de carbohidratos como la glucosa, fructosa y sacarosa se registra entre 1200 y 900 cm^{-1} , región donde cada banda de absorción involucra más de una vibración o movimiento y no puede ser fácilmente asignada a un grupo funcional específico [32]; los resultados IRTF del látex seco muestran unos picos en dicha región, que podrían corresponder a bandas generadas por la presencia de hidratos de carbono.

Se concluye entonces que la pérdida observada en la Figura 1 para el látex natural preservado entre 300 y 450°C corresponde principalmente a látex seco, el cual está conformado principalmente por moléculas de cis-isopreno. En cuanto a los primeros picos de pérdida de masa observados en la TGD del látex natural preservado (ver Figura 1, el primero entre 30 y 95°C , el segundo entre 95 y 135°C), inicialmente se consideraron que corresponden a la pérdida en agua y a los AGV presentes en el látex natural preservado como lo reporta Blackley [22]. Según el autor, la fase acuosa del látex contiene mayoritariamente agua además de diferentes especies químicas, entre las que están los carbohidratos, electrolitos, proteínas y aminoácidos. 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. La Tabla 2 muestra los puntos de ebullición de algunos ácidos

carboxílicos que forman parte de las sustancias volátiles mencionadas por Blackley [22]. Esto permite considerar que el conjunto de las primeras pérdidas observadas en la Figura 1 corresponderían a la volatilización mayoritariamente de agua y parte de algunos ácidos grasos.

Tabla 2. Propiedades físicas de ciertos componentes del látex natural.

Sustancias		Punto de fusión ($^\circ\text{C}$)	Punto de ebullición ($^\circ\text{C}$)
AGV	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	Potasio	63,53	759
	Sodio	97,87	883
	Magnesio	650	1090
	Calcio	842	1527
	Hierro	1535	2750

Datos tomados de varias fuentes bibliográficas [23 – 25]

Los espectros obtenidos de la prueba IRTF del suero acuoso (parte acuosa que queda después de la coagulación del látex) y del látex natural preservado son presentados en la Figura 4, los cuales dieron como resultado la presencia de una gran cantidad de agua, con sus picos característicos en 3414 cm^{-1} , debido al estiramiento del enlace OH, 2140 cm^{-1} por flexión tijera y balanceo, y 1642 cm^{-1} por flexión del enlace OH [33].

Los picos representativos del agua solaparon las bandas funcionales de otras sustancias en la muestra, impidiendo la identificación de otros compuestos presentes en el suero y el látex

preservado por IRTF. En consecuencia, se asume que la primera gran pérdida observada en la curva TG (correspondiente

a los dos picos presentes en la TGD) es debida a la evaporación de parte de los ácidos carboxílicos y del agua.

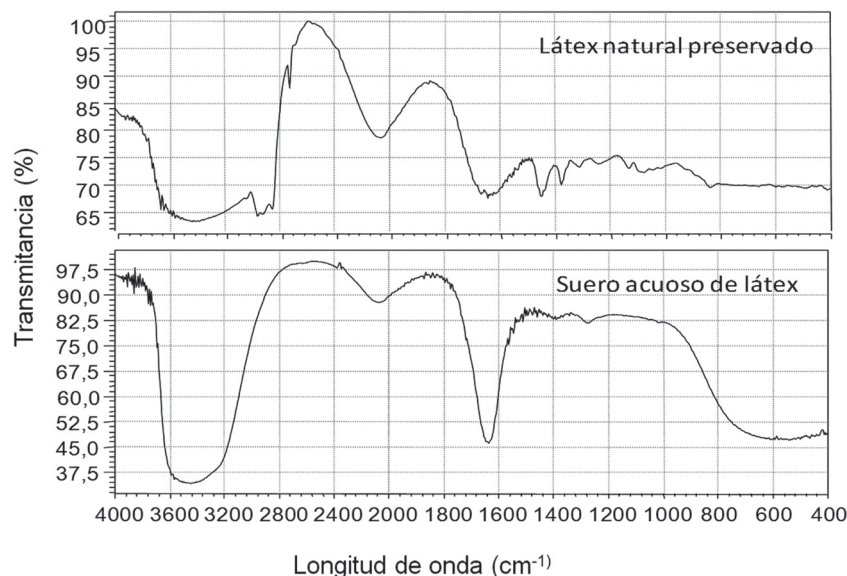


Figura 4. Espectro FTIR del suero acuoso del látex y de látex preservado.

Análisis comparativo entre el ATG y la norma ASTM D1076

Durante el tratamiento propuesto por la norma ASTM D1076 para la caracterización del látex preservado, y particularmente en la identificación del CST, se busca principalmente obtener una muestra seca (látex seco) en un horno ventilado hasta lograr un peso constante. Realizando la analogía con lo que sucede en la balanza termogravimétrica, 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 (tercer pérdida en la Figura 1). Por consiguiente, es posible calcular el CST a partir de la pérdida de masa hasta 135°C del látex natural preservado utilizando ATG.

El porcentaje másico restante, después de 450°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.

La norma ASTM D1076 hace la diferencia entre el CST en el látex natural preservado y el CCS presente en él, denominando la diferencia porcentual másica como el “Contenido de Material no Caucho”. Por consiguiente, se puede afirmar que los resultados medidos en la balanza termogravimétrica permiten igualmente calcular este material. De hecho entre 135 y 300°C existe un ligera pérdida de la masa en la curva termogravimétrica posiblemente atribuible a la eliminación de los ácidos grasos de mayor peso molecular, como lo podría ser el butírico y el palmítico [22] (ver la Tabla 2), compuestos que entrarían a formar parte del material no caucho evaporado antes de la degradación del hidrocarburo.

En la Tabla 3 se aprecian los valores de las propiedades caracterizadas por las dos formas de evaluación: la convencional y la alternativa.

Tabla 3 Valores determinados por los dos tipos de caracterización.

Propiedades evaluadas	Caracterización	Caracterización	Varianza
	Convencional	Alternativa	
Contenido Sólidos Totales, CST(%p)	47,14 ± 0,001	48,48 ± 0,36	0,45
Contenido Caucho Seco, CCS (%p)	43,73 ± 0,21	44,46 ± 0,36	0,13

La caracterización convencional se realizó dos veces con el fin de asegurar la reproducibilidad de los resultados, consiguiéndose una desviación estándar no mayor de 0,21% peso. Los datos registrados en la Tabla 3 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 de reproducibilidad es de 0,36% peso.

Con el fin de comparar los dos métodos se calculó la varianza entre los valores medios reportados para cada una de las propiedades evaluadas (Ver la Tabla 3). La varianza fue calculada según la Ecuación 1, en donde x_i corresponde al valor de la propiedad analizada del método, M corresponde a la media entre los valores de la propiedad analizada teniendo en cuenta los dos métodos y N corresponde al número de valores tenidos en cuenta.

$$\text{Varianza} = \frac{\sum (x_i - M)^2}{N} \quad (1)$$

Se puede observar que los valores de varianza obtenidos son bastante bajos dando así confiabilidad en la comparación de los dos métodos. Esto permite, por tanto, asegurar la viabilidad de la utilización del método alternativo aquí propuesto para la determinación del CST y el CCS de muestras de látex natural.

Conclusiones

El presente estudio mostró la viabilidad de emplear la termogravimetría como método de caracterización alternativo de látex de caucho natural. El análisis comparativo presentó una varianza entre el método convencional (norma ASTM D1076 – 10) y el método aquí propuesto para el CST y el CCS del látex natural estudiado de 0,45 y 0,13, respectivamente.

Se determinó por IRTF 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.

Agradecimientos

Un agradecimiento particular a la Ingeniera Viviana Vargas, de Procaucho S.A., por su atenta

colaboración y suministro de materia prima para la realización de este estudio.

Referencias

- [1] Uribe A. Capítulo 2. Plantas productoras de Caucho. En: Aspectos técnicos en la producción de caucho Hevea. Editor Bib. Orton. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Costa Rica, 1974, p. 6.
- [2] Vian A.. Capítulo 17. La Biosfera III: El árbol vivo como fuente de materia prima. En: Introducción a la química industrial. Editor Ángel Vian. Editorial Reverte S.A. Barcelona, España, 1994, p. 495 – 503.
- [3] Cherian E., Jayachandran K. Microbial degradation of natural rubber latex by a novel species of bacillus sp. SBS²⁵ isolated from Soil. Int. J. Environ. Res. 2009;3(4):599–604.
- [4] Rose K., Steinbüchel A. Biodegradation of natural rubber and related compounds: recent insights into a hardly understood catabolic capability of microorganisms. Appl. Environ. Microbiol. 2005;71(6):2803-12.
- [5] Spence D., Van Niel C.B. Bacterial decomposition of the rubber in hevea latex. Ind. Eng. Chem. 1936;28(7):847-850.
- [6] Carrier M., Loppinet-Serani A., Denux D., Lasnier J.-M., Ham-Pichavant F., Cansell F. *et al.*. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. Biomass Bioenergy; 2011; 5:298–307.
- [7] Ioannidou O., Jung C.G., Zabaniotou A. A thermogravimetric model to predict yield product distribution in pyrolysis of agricultural biomass. Catalysis Today. 2011;167:129–34.
- [8] Torres Manríquez M., Miranda Guardiola R. C. Estudio Cinético por termogravimetría del bagazo de caña de azúcar. Congreso Regional QFB. Disponible en: http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-16-007/documentos/ambiental/AM8_res_extenso_R.Miranda.pdf. Acceso el 15 marzo 2011.
- [9] Singh S., Wu C., Williams P. T. Pyrolysis of waste materials using TGA-MS and TGA-FTIR as complementary characterisation techniques. J. Anal. Appl. Pyrolysis. 2012;94:99–107.
- [10] American Society for Testing and Materials. D1076 – 88, Standard specification for rubber concentrate, ammonia preserved, creamed and centrifuged Natural Latex., Philadelphia,

- Estados Unidos: ASTM; 1992.
- [11] De Oliveira C. S., De Arruda E. J., Da Costa R. B., Goncalves P. S., Delben A. Evaluation of latex from five Hevea clones grown in São Paulo State, Brazil. *Thermochim. Acta.* 2003;398(1):259–63.
- [12] De Medeiros E. S., Moreno R. M. B., Ferreira F. C., Alves N., Job A. E., Goncalves P. S. *et al.* Thermogravimetric studies of the decomposition kinetics of four different hevea rubber clones using Ozawa's approach. *Prog. Rubber Plast. Re.* 2003;9(4):189-203.
- [13] Moreno R. M. B., De Medeiros E. S., Ferreira F. C., Alves N., Goncales P. S., Mattoso L. H. C. Thermogravimetric studies of decomposition kinetics of six different IAC Hevea rubber clones using Flynn-Wall-Ozawa approach. *Plast. Rubber Compos.*, 2006;35(1):15-21.
- [14] Fernández-Berridi M. J., González N., Mugica A., Bernicot C. Pyrolysis-FTIR and TGA techniques as tools in the characterization of blends of natural rubber and SBR. *Thermochim. Acta.* 2006;444(1):65-70.
- [15] Li S. D., Yu H. P., Peng Z., Zhu C. S., Li P. S. Study on thermal degradation of sol and gel of natural rubber. *J. Appl. Polym. Sci.* 2000;75:1339 – 44.
- [16] American society for testing and materials. D6370 – 99, standard test method for rubber – compositional analysis by thermogravimetry (TGA). Philadelphia, Estados Unidos: ASTM; 2009.
- [17] Le Bras J. Fundamentos de ciencia y tecnología del caucho. España: Editorial Gustavo Gili, S.A.; 1960.
- [18] Mathew N. M. Chapter 2. Natural Rubber. En: *Rubber Technologist's Handbook*. Editor Sadhan K. De y Jim R. White. Reino Unido: Rapra Technology Inc.; 2001. p 16 – 46.
- [19] Mekkiengkrai D., Ute K., Swiezewska E., Chojnacki T., Tanaka Y., Sakdapipanich J. Structural characterization of rubber from jackfruit and euphorbia as a model of natural rubber. *Biomacromolecules.* 2004;5:2013–9.
- [20] Cornish K.; Myers M., Kelley S. Latex quantification in homogenate and purified latex samples from various plant species using near infrared reflectance spectroscopy. *Industrial Crops and Products.* 2004;19(3):283-96.
- [21] Sansatsadeekul J., Sakdapipanich J., Rojruthai P. Characterization of associated proteins and phospholipids in natural rubber latex. *J. Biosci. Bioeng.* 2011;111(6):628-34.
- [22] Blackley D. C. *Polymer Latices: Science and Technology.* 2 ed. Reino Unido: Editorial Chapman & Hall; 1997. p 78–114.
- [23] Welcher. F. *Organic Analytical Reagents.* Estados Unidos: Van Nostrand Company; 1948.
- [24] Feiser L., Feiser M. *Química Orgánica.* México: Grijalbo S.A.; 1965.