

Análisis y caracterización fisicoquímica de la especie *Hevea Brasiliensis*¹

Physicochemical analysis and characterization of the *Hevea brasiliensis* species

A. M. Támara y H. Reyes

Recibido Agosto 14 de 2014 – Aceptado Septiembre 23 de 2015

Resumen— Este trabajo se centró en caracterizar por técnicas de TGA, DTG e IR la coagulación del látex de caucho natural, mediante el uso de ácido fórmico y ácido acético, se usaron ejemplares clasificados como clon IAN-710, cultivados en el departamento del Caquetá, con el objetivo de comparar la aplicación de éstos ácidos a distintas concentraciones y la repercusión que tienen en las propiedades térmicas y químicas (materia volátil y cenizas). La caracterización se llevó a cabo mediante calorimetría diferencial de barrido, análisis termogravimétrico y la identificación por espectroscopia de infrarrojo. Se observó que la variación de la concentración de ácidos no influye en un cambio relevante en las propiedades térmicas, además, no se altera la estructura química molecular principal del caucho como cadena poli (cis-1,4-isopreno).

Palabras clave — calorimetría diferencial de barrido, análisis termogravimétrico, espectroscopia infrarrojo, caucho natural.

Abstract — This work focused on characterizing by techniques TGA, DTG and IR, the coagulation of natural rubber latex, by using formic acid and acetic acid, samples classified as clone IAN-710 grown in Caquetá were used, in order to compare the use of these acids on different concentrations, and the impact they have on the thermal and chemical properties (volatile matter and ash). The characterization was carried

out by differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis and infrared spectroscopic identification. It was observed that the variation of acids concentration does affect neither the thermal properties within a significant change, nor the major molecular chemical structure of rubber as poly (cis-1,4 -isoprene).

Key words — differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis, infrared spectroscopy, natural rubber.

I. NOMENCLATURA

DSC: Calorimetría Diferencial de Barrido

TGA: Análisis Termogravimétrico

DTG: Derivada del Análisis termogravimétrico

IR: Espectroscopia infrarrojo

II. INTRODUCCIÓN

EL caucho, *Hevea brasiliensis*, es la fuente de la materia prima de innumerables productos que generan un gran impacto en el desarrollo industrial, económico y social, siendo utilizado como materia prima industrial, bien sea de forma líquida látex de caucho o en forma de caucho seco, para la manufactura de un gran número de productos indispensables para la sociedad, desde guantes industriales y quirúrgicos, mangueras, calzado, adhesivos, accesorios para autos, hasta su aplicación más prioritaria como neumáticos para todo tipo de transporte [1].

Colombia cuenta con alrededor de 28000 hectáreas para la producción de este recurso, donde 4283 hectáreas están en explotación actualmente, siendo el departamento del Caquetá el más importante con cerca del 50% del total que se explota, aproximadamente: 5139 toneladas anuales de caucho seco se producen. Se prevé que para el año 2018 la cantidad de

¹Producto derivado del proyecto de Investigación “Análisis y Caracterización Fisicoquímica de la Especie *Hevea Brasiliensis*”, perteneciente al Grupo Químico en Investigación y Desarrollo Ambiental, avalado por el programa Programa de Química (Ciencias Básicas, Caquetá) de la Universidad de la Amazonia.

A. M. Támara es Estudiante Investigador en Química de la Universidad de la Amazonia, Florencia (Colombia); correo e.: mile-219205@hotmail.com; a.camacho@udla.edu.co.

H. Reyes es Ph.D en Ingeniería Química y Nuclear, Director Maestría en Química de la Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, docente investigador de la Universidad del Quindío, Armenia (Colombia); correo e.: hreyes@uniquindio.edu.co.

producción de caucho anual será de unas 30823 toneladas anuales en el país [2], de tal manera, que para dicho año, se lograría suplir la demanda nacional actual cercana a 28000 toneladas, solicitada para los diversos procesos industriales [3]. Tal hecho, lleva consigo la necesidad de aumentar el uso de ácido para el proceso de coagulación del látex.

La cantidad de ácido requerida para el proceso de coagulación del látex, depende del estado de madurez de los árboles, de las condiciones climáticas, el tipo de suelo y la línea o casta del árbol [3, 1, 4, 5]; los árboles jóvenes dan un látex inestable y durante la sangría se debe añadir al mismo, algo de amoníaco para asegurar su estabilidad hasta su manufactura. La cantidad de amoníaco adicionado se tiene en cuenta al determinar la cantidad de ácido necesario para un efectivo proceso de coagulación. El látex de árboles maduros, que no ha recibido amoníaco, necesita aproximadamente 40 mL de ácido fórmico (al 90 %) por cada 100 litros de látex, visto así, el volumen de ácido fórmico pareciera ser insignificante, pero multiplicado por 5139 toneladas de demanda nacional anuales de látex y con un grado de toxicidad DL50 730mg/kg, es realmente preocupante, pero aún más, para cuando se logre la producción de las aproximadamente 31 mil toneladas [3]. Diversos autores plantean el uso de ácido acético como agente coagulante [1, 6, 7], el cual tiene un menor grado de toxicidad (DL50 3310 mg/kg). Sin embargo, no se conoce el efecto que tiene la variación de la concentración de ácido fórmico y ácido acético en el proceso de coagulación del látex provenientes del caucho natural de la región del Caquetá (según la exploración hecha en las bases de datos: Science Direct, American Chemical Society, google school y Journal Scielo), con respecto a las propiedades térmicas. Lo ideal sería, que la variación de la concentración de ácido acético sea igual o repercuta en la mejora de estas propiedades en el proceso de coagulación, en comparación con el ácido fórmico.

Actualmente, el problema radica en que los productores de caucho del departamento del Caquetá proceden de una manera no sistemática, realizando variaciones de las concentraciones y cantidades de agente coagulante, teniendo en cuenta exclusivamente el conocimiento empírico, haciendo uso aproximado de una concentración, sugerida por la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (ASOHECA). No obstante, esta práctica ha ocasionado grandes variaciones en las propiedades de la materia prima final, que establece la norma ISO 2000 [3].

El objetivo de este trabajo de investigación se centra en evaluar la variación de las concentraciones de dos ácidos y su repercusión en las propiedades térmicas, químicas (análisis de materia volátil y cenizas) en caucho seco como producto final, conjuntamente su identificación por espectroscopia infrarroja; siendo este trabajo un estudio que permite abarcar las demás características que establece la norma para este tipo de productos.

III. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

A. Procedimiento experimental

a. *Materia prima:*

La recolección del látex de caucho, se realizó en ejemplares clasificados como clon IAN-710 de *Hevea brasiliensis* según el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). Así, se seleccionaron 50 árboles de seis años de edad, cinco meses de explotación en promedio, y beneficiados por el sistema D2, es decir, sangrados cada dos días. Plantados, en el Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual (CIMAZ), ubicado a 20 km de Florencia, al sur del departamento del Caquetá, a una altura de 326 m.s.n.m, con temperatura media anual de 25,5°C, humedad relativa media del 85 % y precipitación media de 3600 mm/año.

b. *Cantidad y tiempo de recolecta:*

Una vez sangrados los árboles mediante un corte de media espiral, el látex se recolectó en vasijas plásticas. Transcurrido el tiempo de sangrado, el látex se trasvasó a un frasco de vidrio ámbar, para una cantidad de colecta de 1.5 litros en total, el cual no tuvo previo tratamiento de conservación con amonio, sino que fue llevado de inmediato al laboratorio para su coagulación. Este mismo proceso se repitió al tercer día, para los ensayos por duplicado.

c. *Proceso de coagulación.*

El látex fue previamente filtrado mediante un tamiz de 400 μm , luego fue transferido a doce beakers, donde se agregó a cada uno de ellos 100 mL de látex, seguidamente se adicionaron 3,5 mL de ácido acético y ácido fórmico a diferentes concentraciones (1 %, 3 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % v/v), a un número igual de muestras, éste proceso se realizó por duplicado. Una vez transcurridas las 24 horas de coagulación, el caucho se lavó con agua, y posteriormente se lamino en un equipo de rodillos abiertos a un espesor de 2 mm, para finalmente ser secado por ocho días al aire libre bajo sombra.

d. *Análisis químico*

Materia volátil: se tomaron, de cada muestra laminada pesos aproximados entre 10,000 y 10,490 gramos; luego, las respectivas fracciones fueron llevadas al horno por 1 hora a 110°C, se sacaron para ser pesados, seguidamente se llevaron de nuevo al horno por 30 minutos, para nuevamente ser sacadas y pesadas. El proceso se repitió hasta lograr una diferencia de peso inferior a 1mg.

Cenizas: se tomaron de cada muestra laminada pesos aproximados entre 10,000 y 10,490 gramos, luego fueron cortadas en tiras e incineradas a la llama, para ser introducidas en crisoles; seguidamente ser llevadas a la mufla a 550°C por 3 horas, hasta que las muestras quedaran convertidas en cenizas.

e. *Caracterización del caucho*

Las láminas de caucho natural se analizaron por

espectroscopia de infrarroja (IR), en un equipo Thermo Scientific Nicolet 6700 equipado con una celda ATR SMART ORBIT NEXT con cristal de diamante, en un rango de número de onda entre 4000 cm^{-1} a 450 cm^{-1} . También fueron caracterizadas por análisis termogravimétrico (TGA), los cuales se realizaron en un equipo TA Instruments HR 2950 V6.1, aplicando una velocidad de calentamiento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde temperatura ambiente hasta 800°C , en atmósfera de aire con un flujo de $60\text{ mL}/\text{min}$. Un análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) también les fue aplicado. Para DSC se usó un equipo NETZSCH STA 409C, a una velocidad de calentamiento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ en atmósfera de aire.

B. Resultados y discusiones

Aunque no se efectuaron análisis mecánicos, sí se observó, que las muestras coaguladas a concentraciones bajas de 1% , 3% y 5% (v/v), eran más blandas en comparación con las muestras coaguladas a concentraciones altas de 10% , 15% y 20% (v/v) las cuales tenían un comportamiento un poco más rígido; en especial la muestra coagulada con ambos ácidos a concentraciones de 20% .

En la Fig. 1, se muestra la estructura química del poliisopreno, componente mayoritario (entre el 93% a 95% en el caucho seco [5], el cual es objeto de discusión en los resultados por espectroscopia infrarroja.

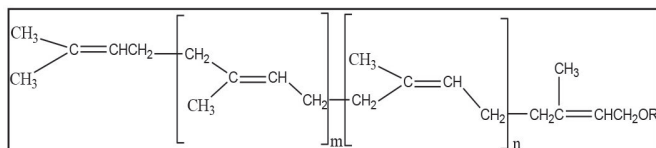


Fig. 1. Estructura química del poli (cis-1,4-isopreno) en el caucho natural según [5].

En la Tabla I se muestran los resultados del porcentaje de material volátil y el porcentaje de cenizas, obtenidos según los análisis realizados a las distintas muestras, bajo los criterios establecidos por las normas ISO. Los resultados señalan que las muestras coaguladas a las distintas concentraciones de ácidos, están dentro de los parámetros estipulados por la norma ISO 248 para el contenido de material volátil y la norma ISO 247 para el contenido de cenizas, los cuales establecen, que el porcentaje máximo de materia volátil debe ser igual o inferior a $0,8\%$, y que el porcentaje de cenizas debe ser igual o inferior al 1% . Un aumento en el porcentaje de agua en especial de minerales e impurezas, modifica las propiedades del caucho, teniendo que hacerse tratamientos térmicos previos para eliminar y mitigar dicho aumento, antes de llevarse a cabo un uso específico, según lo señala la Asociación Americana de Análisis y Materiales (ASTM) [5].

Sin embargo, cabe aclarar, que la desecación absoluta del caucho no ocurre, tan solo se tiene un equilibrio hídrico, el cual no es muy relevante. Por tanto y considerando lo anterior, se deduce que la influencia de ácido en las distintas

concentraciones no aumenta el porcentaje de material volátil ni de cenizas, ya que no existe una concentración elevada de minerales en las muestras de caucho seco laminado, como es de esperarse en coágulo de caucho seco como materia prima final por algunos agricultores.

TABLA I. RESULTADOS DE PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL Y PORCENTAJE DE CENIZAS EN LAS DISTINTAS MUESTRAS COAGULADAS CON ÁCIDO FÓRMICO Y ÁCIDO ACÉTICO

Concentración en % v/v	Muestra	% de Material Volátil		% de Cenizas en Base Seca	
		Ácido Fórmico	Ácido Acético	Ácido Fórmico	Ácido Acético
1	Inicial	0,12	0,05	0,23	0,35
	Replica	0,29	0,23	0,26	0,31
3	Inicial	0,18	0,80	0,21	1,00
	Replica	0,19	0,20	0,26	0,24
5	Inicial	0,17	0,70	0,22	0,23
	Replica	0,15	0,06	0,21	0,23
10	Inicial	0,24	0,15	0,28	0,24
	Replica	0,57	0,14	0,27	0,25
15	Inicial	0,18	0,15	0,26	0,27
	Replica	0,3	0,30	0,26	0,22
20	Inicial	0,05	0,36	0,27	0,25
	Replica	0,13	0,80	0,25	0,22

En las Fig. 2 y 3 se exponen los espectros IR para las diferentes muestras de látex coagulado, usando los diferentes ácidos, comparando la transmitancia relativa en función del número de onda con el propósito de visualizar los espectros.

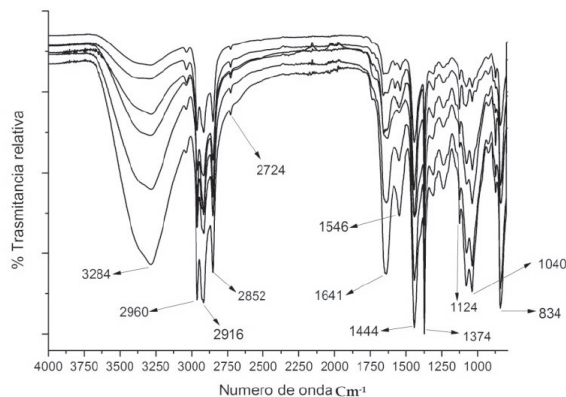


Fig. 2. Espectro infrarrojo para el caucho seco coagulado con ácido acético.

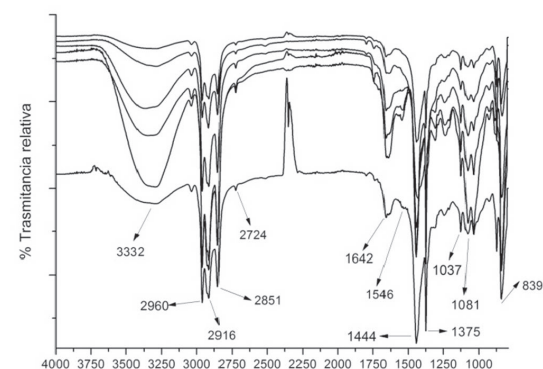


Fig. 3. Espectro infrarrojo para el caucho seco coagulado con ácido fórmico.

Las bandas de 3284 cm^{-1} y 3332 cm^{-1} en los espectros presentados en las Fig. 2 y 3 corresponden al ácido orgánico respectivo, a ácido fórmico y ácido acético, las regiones próximas a 2850 cm^{-1} y 2920 cm^{-1} corresponden a los estiramientos simétrico y asimétrico del grupo metilo, en la región de 2960 cm^{-1} se encuentra el estiramiento simétrico y asimétrico del C-H en el grupo funcional CH_3 . En la región de 1660 cm^{-1} y 1544 cm^{-1} se observa vibración de estiramiento asociado al doble enlace C=C, en 1444 cm^{-1} y 1376 cm^{-1} vibración de deformación asimétrica y simétrica del C-H en el grupo metilo, en 1126 cm^{-1} vibraciones del esqueleto C-C, en 1036 cm^{-1} deformación del enlace C- CH_2 en el plano, en 840 cm^{-1} una banda fuerte asociado a la flexión del C-H fuera del plano en el grupo funcional C=C que se describe como típica cadena del cis-1,4 y en 756 cm^{-1} una banda que corresponde a vibraciones del enlace C-C en el grupo funcional CH_2 .

Es posible inferir, como se mencionó anteriormente, que los ácidos orgánicos usados para la coagulación látex, están presentes en el caucho seco debido a sus bandas características (3284 cm^{-1} y 3332 cm^{-1}), como se aprecia en los espectros IR realizados a cada muestra (ver Fig. 2 y 3).

Este ácido presente en las muestras coaguladas, es producto de la estabilización ó neutralización que tienen los ácidos carboxílicos sobre la carga negativa presente en la capa periférica de proteínas y algunos grupos funcionales que quedan por fuera de la interfase caucho-agua según [8]. Pero, no se conoce específicamente qué sustancias o que otras sustancias no isoprénicos son afectadas por el uso de ácido.

Sin embargo, teniendo en cuenta los espectros infrarrojo, se puede deducir que independientemente de la concentración de ácido y el tipo de ácido usado, no se modifica la estructura química molecular principal del caucho (poli cis-1,4-isopreno, ver Fig. 1), ya que se muestran las mismas bandas características, propias de esta estructura elucidadas por IR, en trabajos e investigaciones realizadas por [1,9,10,11]. Además, se podría incluso utilizar concentraciones más bajas de ácido para la coagulación del látex.

Por otra parte, la neutralización de cargas negativas, por los ácidos carboxílicos, si bien, no permiten que se incremente en el porcentaje de cenizas, ya que esta interacción desplazaría las cargas positivas generadas por algunos minerales tales como K, Ca, Fe entre otros, sobre la superficie de la interfaz caucho-agua, sin embargo la concentración de ácido, tampoco marca influencia en este hecho, ya que el porcentaje de cenizas de algunas concentraciones de ácidos es similar, como se muestra en la Tabla I.

En las Fig. 4 y 5 se muestran los resultados de TGA y DTG obtenidos para algunas muestras de caucho seco provenientes del látex coagulado con ácido acético y ácido fórmico.

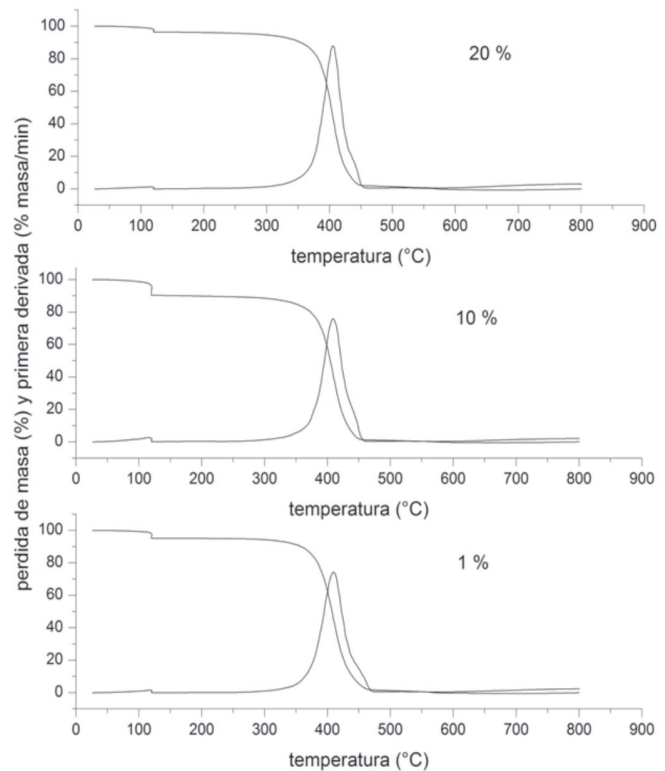


Fig. 4. Superposición de termogramas TGA y DTG para las muestras de caucho seco obtenidos del látex coagulado con ácido acético.

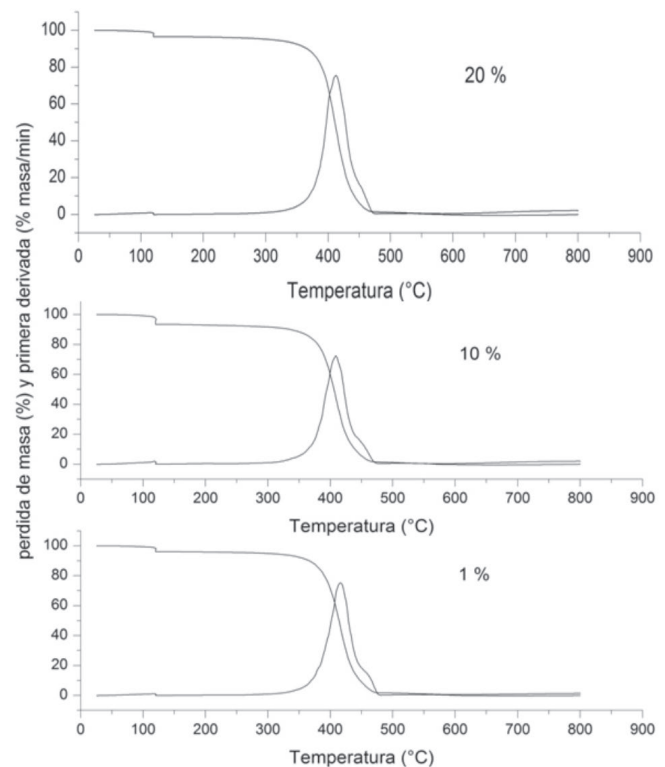


Fig. 5. Superposición de termogramas TGA y DTG para las muestras de caucho seco obtenidos del látex coagulado con ácido fórmico.

Los termogramas para las diferentes muestras presentadas en las Fig. 4 y 5, reflejan claramente dos eventos presentes en cada muestra analizada; el primer evento, a 120 °C, señala una pérdida inicial de masa entre 2% y 8% en las distintas muestras, atribuidas a pérdidas de agua y monómeros, lo cual ha sido reportado por [5], en especial agua y elementos no isoprénicos como proteínas, alcoholes y compuestos de bajo punto de ebullición; luego se presenta una degradación térmica inicial y final entre 340 °C y 465 °C, con más del 98 % de pérdida de masa en las distintas muestras, correspondiente al proceso de pirólisis oxidativa que sufre la cadena polimérica del caucho como lo refiere [7]. Hecho que se asemeja en las investigaciones realizadas por [12,13], pero que muestran una degradación inicial y final entre 385 °C a 475°C para el caucho natural de malasia, lo que sugiere que el caucho utilizado en este trabajo, es térmicamente un poco menos estable, aunque la estabilidad térmica va a depender del tipo de clon de caucho utilizado, así lo indica [5]. No obstante, existen mezclas de caucho natural con otros elementos como nanocompuestos de caucho con arcillas, caucho estireno-butadieno, los cuales le otorgan al caucho natural una mayor estabilidad térmica, así lo demuestran los estudios realizados [8,14].

Los termogramas DTG señalan, que la temperatura máxima de degradación térmica para las muestras coaguladas a diferentes concentraciones de ácido fórmico y ácido acético son muy similares entre sí, donde la degradación oscila en un rango de temperaturas entre 407,7 °C a 413,9 °C para ácido fórmico, y entre 401,5 °C a 409,7 °C para ácido acético; no obstante, la diferencia térmica entre las distintas concentraciones de ácido y entre ácidos, no es muy significativa para el propósito de éste trabajo.

Por último se muestra, en todos los termogramas, la degradación termo-oxidativa del caucho a temperaturas por encima de 550 °C, donde el porcentaje materia restante es la de elementos o compuestos inorgánicos, como óxidos de minerales, siendo el valor de residuos obtenidos de 0,14 % y 0,95 % m/m, donde el contenido más bajo y más alto es para las concentraciones de 15 % y 1 % de ácido fórmico y, 0,64 % y 0,31 % m/m, siendo el contenido más alto y más bajo, para una concentración de 20 % y 3 % de ácido acético; concentraciones de minerales e impurezas, que se mantiene en el rango según la norma ISO 247 y que juegan un papel fundamental en las propiedades del caucho como se había mencionado anteriormente. Dado lo anterior, es posible deducir y concluir, que la degradación y la estabilidad térmica de las muestras coaguladas a distintas concentraciones de ácido es muy similar, ya que el margen de materia perdida con el incremento de la temperatura, no es muy distante, además, se presentan los mismo eventos representativos en el análisis del caucho natural en otras investigaciones.

En la Fig. 6 y 7 se muestran los resultados obtenidos por DSC para los cauchos obtenidos del látex coagulado con ácido fórmico y ácido acético.

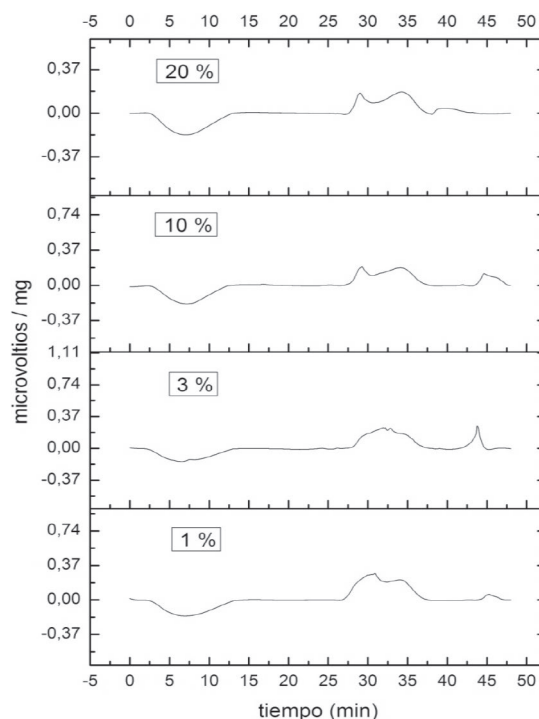


Fig. 6. Termograma de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para los cauchos obtenidos del látex coagulado con ácido acético.

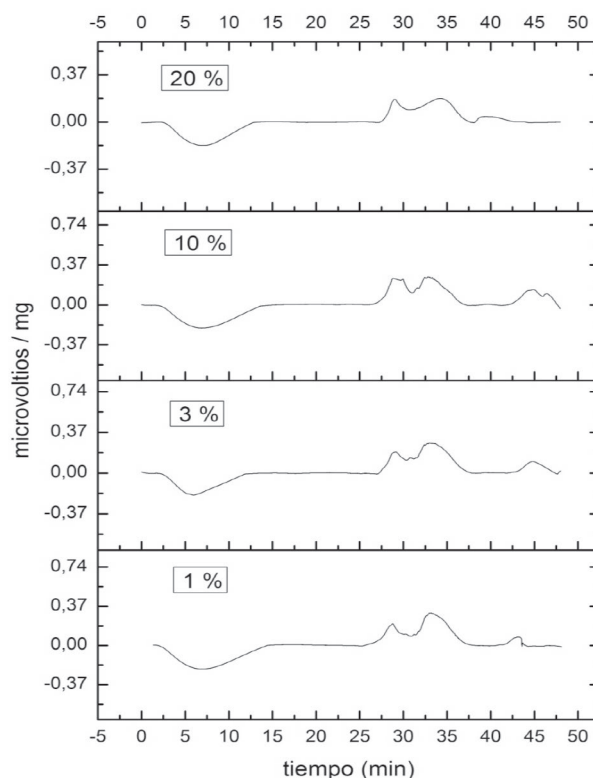


Fig. 7. Termograma de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para los cauchos obtenidos del látex coagulado con ácido fórmico.

La característica a la que el caucho natural debe gran parte de sus excelentes propiedades y que a su vez es consecuencia de su regularidad estructural, es su tendencia a una leve cristalización, la cual tiene lugar a temperaturas por encima de 10 °C como lo indica [15]. El primer pico

que se observa en la Fig. 6 y 7, dado en todas las muestras, es de naturaleza endotérmica, y corresponde a la fusión de ésa pequeña fase cristalina, según lo menciona [16]. Aunque este evento no es observado en los termogramas TGA; la temperatura de la muestra (caucho natural) sufre un retraso, observado en la señal DSC, mientras se continua el programa de calentamiento, teniendo lugar en estos termogramas a temperaturas entre ± 65 °C y ± 77 °C, realizadas a las muestras coaguladas con los diferentes ácidos y concentraciones; a medida que se sigue aumentando la temperatura y a su vez la sensibilidad a la oxidación, hasta un punto, donde se presentan dos picos consecutivos de carácter exotérmico entre temperaturas de 315 °C y 320 °C para el segundo pico, y 355 °C a 360 °C para el tercer pico en todas las muestras, los cuales son el resultado del ataque del oxígeno sobre los grupo metilenos de la cadena polimérica, según lo mencionan [17]. Y finalmente se presenta con el incremento de la temperatura, un semi pico a temperaturas por encima de 465°C en todas las muestras, y que se corrobora con los resultados de TGA, mostrando la degradación termo-oxidativa del caucho, específicamente, la ruptura y destrucción de enlaces simples y covalentes de la red polimérica del caucho, como es de esperarse a esta temperatura según lo señala [17].

Los estudios previos hechos por DSC, permitieron además determinar el área bajo la curva en los distintos picos, mediante el uso de la línea base para cada muestra analizada; esta área es proporcional al valor de la entalpia de cada evento (fusión y descomposición del caucho natural), donde el área para el segundo y tercer pico Fig. 6 y 7, en todas las muestras osciló entre 77 $\mu\text{J}^*/\text{mg}$ y 82,5 $\mu\text{J}^*/\text{mg}$ y para el primer pico entre 64 $\mu\text{J}^*/\text{mg}$ y 78,9 $\mu\text{J}^*/\text{mg}$, áreas que aunque son distantes para el primer pico, es dependiente de la cantidad de masa de muestra usada durante el análisis, ya que muestran la cantidad de energía necesaria para que se lleve a cabo el respectivo proceso o evento químico presente durante el calentamiento progresivo del caucho natural [15]. No obstante y teniendo en cuenta estas áreas se puede deducir que aunque son distantes, se presentan los mismo eventos térmicos tanto en DSC como en TGA y que tienen lugar a la misma temperatura y tiempo.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en los espectros IR y en los termogramas TGA y DSC, demuestran, no sólo que las técnicas térmicas son precisas, permitiendo caracterizar y diferenciar cualquier proceso o evento químico y térmico, sino que además, para efectos de este estudio, permitió definir, que no existe una diferencia en la variación de la concentración de ácido fórmico y ácido acético en el proceso de coagulación del látex, teniendo en cuenta los resultados térmicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la

Universidad de la Amazonía por facilitar los laboratorios para los análisis de las muestras.

Igualmente, a la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, por los análisis térmicos realizados a las muestras de caucho.

Gracias también a la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá "ASOHECA", por la laminación de las muestras coaguladas, la determinación del material volátil y el suministro de ácido fórmico.

REFERENCIAS

- [1] Giraldo, D. & Velásquez, S. (2010). análisis de las características fisicoquímicas de caucho natural colombiano obtenido de tres variedades clonales de Hevea brasiliensis y evaluación de sus tiempos de vulcanización. Grupo de materiales poliméricos, Departamento de ingeniería metalúrgica y de materiales, Universidad de Antioquia, COLOMBIA 1:1-8
- [2] Quesada, I. ; Aristizabal, F. & Montoya, D. (2012). Caracterización de dos parámetros del latex de clones de Hevea brasiliensis. Revista Elsevier 15:1-8.
- [3] Martínez-Garnica A. & García-Rubio F (2006). Investigaciones en el cultivo de caucho en la orinoquia y norte amazónico. boletín de investigación 4:1-10.
- [4] Tungngoen, K. ; Viboonjun, U. ; Kongsawadworakul, P. ; Katsuhara, M. ; Julien, J. ; Chrestin, H. & Narangayavana, J. (2011). Hormonal treatment of the bark of rubber trees (Hevea brasiliensis) increases latex yield through latex dilution in relation with the differential expression of two aquaporin genes. Journal of Plant Physiology 168:1-9.
- [5] Colonna, P. (2010). La Quimica verde. Págs. 211-235 en: J. S. Beuve & L. V. Frédéric (eds). Editorial Acribia, S.A. Zaragoza ESPAÑA.
- [6] Martins, M. A ; Dall'Antonia, A. C. & Mattoso, L. C. (2002). caracterización mecánica de composites de borracha natural/fibra de sisal. Congreso Brasileño de Ingeniería y Ciencia de Materiales:1-7.
- [7] Malmonge, E. & Rogérico, M. (2006). comparación entre a borracha natural obtida do latex da Hancornia speciosa gomes e Hevea brasiliensis. Congreso Brasileño de Polímeros :1-2
- [8] Chirinos-Collantes, H. D. (2008). Estudio de la obtención de un nanocompuesto de caucho natural reforzado con arcilla. Tesis pregrado, Universidad Nacional del Callao. Perú: 1-146.
- [9] Egboh, S & Mukherjee, A (1991). Adhesion Studies of Tyre Cords with Rubber. Synthesis and Characterization of Natural Graft Copolymers. Department of Textile Technology. New Delhi, India 6: 1-8.
- [10] Oliva, L.C.S ; Arruda, E. J. ; Favaro, S.P. ; Costa, R.B. ; Goncalves, P.S. & Job, A.E. (2006). Evaluation of thermal behavior of latex membranes from genetically improved rubber tree (Hevea brasiliensis). Revista Elsevier 27:1-8.
- [11] Fereshteh, M. ; Mercedeh. M & Taghvaei-Ganjali, S. (2013). Investigation of correlation between rheological properties of rubber compounds based on natural rubber/styrene-butadiene rubber with their thermal behaviors. International Journal of Industrial Chemistry 4:1-16.
- [12] Romero, P. & Desiré, R. (2002). Modificación de las propiedades de polipropileno con caucho natural. pregrado pregrado, Universidad Central de Venezuela:1-106.
- [13] Brazier, D. W (1990). Applications of Thermal Analytical Procedures in the Study of Elastomers and Elastomer System. Págs. 408-509 en: D. W. Brazier (ed.). Differential thermal analysis (DTA) and differential scanning calorimetry. Dunlop research, Sheridan park research community. Mississauga, Ontario Canada.
- [14] Mansilla, M. A. (2012). Influencia de la microestructura Facultad en las propiedades mecánicas y térmicas de mezclas caucho natural y estireno butadieno. Tesis Doctoral. de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina:1-150.

- [15] Yang, J. & Roy, C. (1996). A new method for DTA measurement of enthalpy change during the pyrolysis of rubbers. *Revista Elsevier* 28:1-14.
- [16] Narathichat, M. ; Kummerlöwe, C. ; Vennemann, N. & Nakason, C (2010). Thermoplastic Natural Rubber Based on Polyamide-12: Influence of Blending Technique and Type of Rubber on Temperature Scanning Stress Relaxation and Other Related Properties. Center of Excellence in Natural Rubber Technology, Faculty of Science and Technology. Prince of Songkla University. Thailand:1-10.
- [17] Martínez-Solano, J. F. & Bautista-Betancur, M. I. (2007). Estudio Exploratorio para el Uso de Copolímeros Estireno-Caucho como recubrimientos en Láminas de Metal de Hierro. Trabajo de Grado. Facultad de Ingenierías. Universidad Industrial de Santander. Colombia:1-81.

Ana Milena Camacho Tamara nació en Florencia Caquetá Colombia, el 21 de Mayo de 1992. Se graduó en la Institución Educativa Parroquial de San José del Fragua y actualmente se encuentra terminando sus estudios de Química en la Universidad de la Amazonía. Próximamente iniciará sus estudios de Maestría en Química en la Universidad del Quindío.

Henry Reyes Pineda es ingeniero Químico egresado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales con Especialización en Educación Ambiental, Especialización en Ingeniería Electroquímica y Corrosión, Diploma de Estudios Avanzados en Tecnologías de Membranas, Electroquímica y medio Ambiente Seguridad Nuclear y con un Doctorado en Ingeniería Química y Nuclear de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Actualmente es profesor de tiempo completo de la Universidad del Quindío, Armenia, Colombia y Director de la Maestría en Química desde el 2010 y hace parte del Grupo Químico en Investigación y Desarrollo Ambiental.

Ha sido docente de la Universidad de Caldas, Universidad Nacional, Universidad Católica de Pereira 47 Sede Manizales y Universidad Autónoma de Manizales. Entre sus áreas de trabajo investigativo se encuentran La Ingeniería Electroquímica, Los Procesos ambientales, el Tratamiento de residuos sólidos y líquidos, el Diseño de Reactores, entre otros.

El Doctor Reyes Pineda, se graduó en el 2007, obteniendo la máxima calificación en su Tesis Doctoral: "Cum Laude" Ha sido profesor visitante en tres oportunidades a la Universidad Politécnica de Valencia, España y en dos ocasiones a la Universidad de Santa Cruz del Sur, Brasil, desarrollando actividades académicas e investigativas. Igualmente ha participado como conferencista en diferentes congresos nacionales e internacionales.