

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE CAUCHO NATURAL COLOMBIANO OBTENIDO DE TRES VARIEDADES CLONALES DE *HEVEA BRASILIENSIS* Y EVALUACIÓN DE SUS TIEMPOS ÓPTIMOS DE VULCANIZACIÓN

S.M. Velásquez ⁽¹⁾ y D.H. Giraldo ⁽¹⁾

(1) Grupo de Materiales Poliméricos, Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, Universidad de Antioquia, COLOMBIA.

E-mail (autor de contacto): sandramilevelasquez@gmail.com

RESUMEN

En Colombia se desarrollan en las últimas dos décadas importantes proyectos productivos de caucho natural pero aún hay aspectos por estudiar sobre las propiedades de los materiales producidos. En este trabajo se caracteriza mediante FTIR, DSC y TGA caucho natural obtenido de las variedades clonales FX3864, IAN710 e IAN873 predominantes en Tarazá, Antioquia, comparándolo caucho de Guatemala SGR10 y caucho técnicamente especificado de Caquetá-Colombia. Se obtuvieron compuestos de caucho siguiendo una misma formulación, variando únicamente el tipo de caucho natural base. Las mezclas crudas se evaluaron por reometría de vulcanización a 160 °C bajo norma ASTM D5289 y se moldearon en prensa probetas cilíndricas y tipo corbatín, determinando el tiempo óptimo de vulcanización para cada geometría basados en el módulo elástico bajo compresión uniaxial según norma ASTM D575 y bajo tracción según norma ASTM D412, una metodología que puede aplicarse también a productos comerciales. Con los tiempos óptimos de vulcanización encontrados se fabricaron probetas para pruebas de compression-set según norma ASTM D395 método B, densidad según ASTM D792 y dureza según ASTM D2240. Se detectaron algunas diferencias entre los espectros FTIR de los cauchos naturales analizados, la temperatura de descomposición, las curvas reométricas y las propiedades mecánicas de los compuestos, por lo cual se plantean opciones para procesar los materiales colombianos con mayor confiabilidad.

Tópico 3: Materiales Poliméricos

Palabras clave: Caucho natural, caracterización de cauchos, caucho técnicamente especificado, vulcanización.

1. INTRODUCCIÓN

La mejora de los árboles *hevea brasiliensis* para la producción de caucho natural a nivel industrial se logra incorporando nuevas variedades genéticas, y Colombia no es la excepción, buscando especialmente la resistencia a enfermedades como el tizón de la hoja de Suramérica. En la última década en algunas regiones de Colombia se han implementado cultivos de caucho natural de gran envergadura, dado que constituyen una alternativa socio-económica de alto impacto para las regiones que cultivan y para el sector industrial que lo consume. Colombia cuenta con alrededor de nueve mil hectáreas sembradas con caucho[1], por lo cual se requiere avanzar en el conocimiento de los cauchos naturales producidos en las diferentes regiones del país y generar información suficiente para la utilización en procesos industriales de manera confiable. La región de Tarazá en el Departamento de Antioquia cuenta con aproximadamente mil hectáreas sembradas con caucho, predominando tres variedades clonales identificadas como FX 3864 (de origen centroamericano), IAN 873 y IAN 710 (ambas de origen brasileño). Al momento de la realización de este trabajo no se conocen estudios sobre los cauchos producidos por estos clones en el país, mientras que para cauchos brasileños o asiáticos la literatura [2-6] reporta que las características fisicoquímicas del material dependen de la variedad clonal de origen. Es bien identificado

también que las propiedades mecánicas de los compuestos de caucho vulcanizado dependen de las condiciones de proceso, los componentes de la formulación y los cauchos base de las formulaciones[8].

El objetivo de este trabajo es identificar las características físicoquímicas de tres tipos de caucho natural producidos en una subregión colombiana, así como la procesabilidad y las propiedades mecánicas de una formulación basada en esos materiales y compararlos con un caucho técnicamente especificado colombiano y uno guatemalteco. También se evalúa una metodología que permita a la industria determinar en la planta de producción los tiempos óptimos de vulcanización de las piezas moldeadas.

2. MATERIALES

Se extrajo látex de 8 árboles de cada una de las tres variedades clonales de *hevea brasiliensis* estudiadas - FX3864, IAN 873 e IAN 710- cultivados en el valle de Santa Clara, municipio de Tarazá en el Departamento de Antioquia, Colombia. Se seleccionaron árboles de 14 años de edad, 8 años de explotación y beneficiados por el sistema D2, es decir, sangrados cada dos días. El látex fue coagulado durante 24 horas con una solución de agua con ácido acético diluido al 1% en volumen, luego fue lavado para eliminar el ácido acético residual y así proceder con la laminación en un equipo de rodillos abiertos, para finalmente secar durante 8 días bajo techo pero al aire libre. Para efectos comparativos, se estudió también caucho guatemalteco SGR 10 y caucho técnicamente especificado proveniente de Caquetá – Colombia adquirido en distribuidoras comerciales. Se usó la formulación de la Tabla 1, buscando una dureza de 60 Shore A pretendiendo usar un compuesto industrial.

Tabla 1. Composición de la formulación de Caucho Natural.

COMPONENTE	CANTIDAD (PHR)	COMPONENTE	CANTIDAD (PHR)	COMPONENTE	CANTIDAD (PHR)
Caucho Natural	100	Negro de Humo 330	20	Antioxidante	1,5
Sílice granulada	20	Colofonia	5	Azufre	3
Óxido de Zinc	5	Aceite nafténico medio	10	TBBS*	1
Ácido esteárico	3	Polietilén Glicol	10	TMTD**	0,4

*Sulfenamida N-tert-butyl-2- benzotiazol **Disulfuro de Tetrametilium

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las láminas de caucho natural se analizaron por espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA). El FTIR se efectuó en un equipo Perkin Elmer Spectrum One, a 24 °C, en un rango de números de onda de 4000 a 450 cm⁻¹ aplicando 60 barridos. El análisis por DSC se efectuó en un equipo Q200 V24.2 Build 107 aplicando un borrado térmico hasta 250 °C y luego enfriando desde temperatura ambiente a una velocidad de 20 °C/min hasta -80 °C y luego efectuando un análisis por DSC modulado (MDSC) con una señal de 1.27 °C/min aplicando un calentamiento de 2 °C/min hasta temperatura ambiente. El análisis por TGA se realizó en un equipo Q500 V20.8 Build 34 InstrSerial 0500-1190, aplicando una velocidad de calentamiento de 20 °C/min entre 25 y 900 °C.

La mezcla se realizó en un molino de rodillos de tipo abierto a temperatura ambiente inicialmente durante 4 a 5 minutos, incorporando los aditivos diferentes a los acelerantes durante entre 6 y 8 minutos y por último se adicionaron los acelerantes para la homogeneización final entre 2 y 4 minutos, obteniendo láminas con un espesor aproximado de 2,5 a 3 mm. Las mezclas fueron realizadas el mismo día y en las mismas condiciones, buscando variar únicamente el tipo de caucho natural base. De los compuestos crudos se tomaron muestras para efectuar pruebas de reometría de vulcanización a 160°C bajo norma ASTM D5289[9].

Se procedió a determinar los tiempos óptimos de vulcanización de las 5 mezclas para dos geometrías de probeta: cilindros de 29 mm de diámetro y 12.5 mm de altura para acogerse a la norma ASTM D395[10], y probetas tipo corbatín según norma ASTM 412[11]. Las probetas se vulcanizaron en moldes a 160°C en una prensa de accionamiento hidráulico y calentamiento por resistencias eléctricas, fabricando tres probetas para cada condición de proceso moldeando los cilindros durante 4.5, 5, 5.5, 6 y 6.5 minutos y las probetas tipo corbatín durante 6.5, 7, 7.5, 8 y 8.5 minutos, seleccionados de acuerdo a los resultados de las pruebas preliminares.

Las probetas cilíndricas se vulcanizaron en un molde de una sola cavidad, mientras que para obtener las muestras tipo corbatín se utilizó un molde circular con una cavidad de 30 cm de diámetro y 3.5 mm de altura, de tal forma que el disco vulcanizado se troquelaba para obtener las probetas con geometría según ASTM 412. Para cada condición de ensayo se fabricaron 3 probetas, seleccionando 2 aleatoriamente para ser sometidas a pruebas mecánicas y almacenando la restante como probeta testigo.

Las probetas cilíndricas se sometieron a compresión uniaxial bajo norma ASTM D575[12] evaluando el módulo elástico; las probetas tipo corbatín se sometieron a tracción según norma ASTM 412 determinando el módulo al 100%. Para cada material y cada geometría se determinó el tiempo óptimo de vulcanización, identificando el punto de inflexión en las gráficas módulo elástico versus tiempo de vulcanización.

3.2 ENSAYOS MECÁNICOS

Usando el mismo procedimiento de moldeo señalado en la sección anterior aplicando el tiempo de vulcanización óptimo, se fabricaron para cada material cinco probetas cilíndricas de 12.5 ± 0.5 mm de espesor y 29.0 ± 0.5 mm de diámetro. Se seleccionaron aleatoriamente tres probetas y se sometieron a ensayos de compresión uniaxial bajo norma ASTM D575 utilizando una máquina universal de ensayos DIGIMESS deformando las probetas 2 mm a una velocidad de 20 mm/minuto. Para cada mezcla se moldearon también cinco probetas de tracción y se seleccionaron aleatoriamente tres probetas que se sometieron a tracción bajo norma ASTM 412 en una máquina universal DIGIMESS empleando una velocidad de mordazas de 500 mm/minuto, alcanzando el desplazamiento máximo que permite la máquina. En los ensayos de tracción se determinó el módulo al 100% y el módulo al 300%, y a las probetas se les midió dureza bajo norma ASTM D2240 [13] y densidad bajo norma ASTM D792[14]. Para identificar variaciones debidas al mezclado de los materiales se efectuó un análisis tipo ANOVA con el fin de evaluar si existían diferencias entre las densidades de las probetas cilíndricas y las tipo corbatín.

Se fabricaron probetas para pruebas de compression-set bajo norma ASTM D395 método B, pruebas efectuadas a 70°C por un periodo de 72 horas en un horno de aire circulante marca BINDER.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis por FTIR se muestran en la Figura 1, graficando la transmitancia relativa con el fin de visualizar los espectros con mayor claridad.

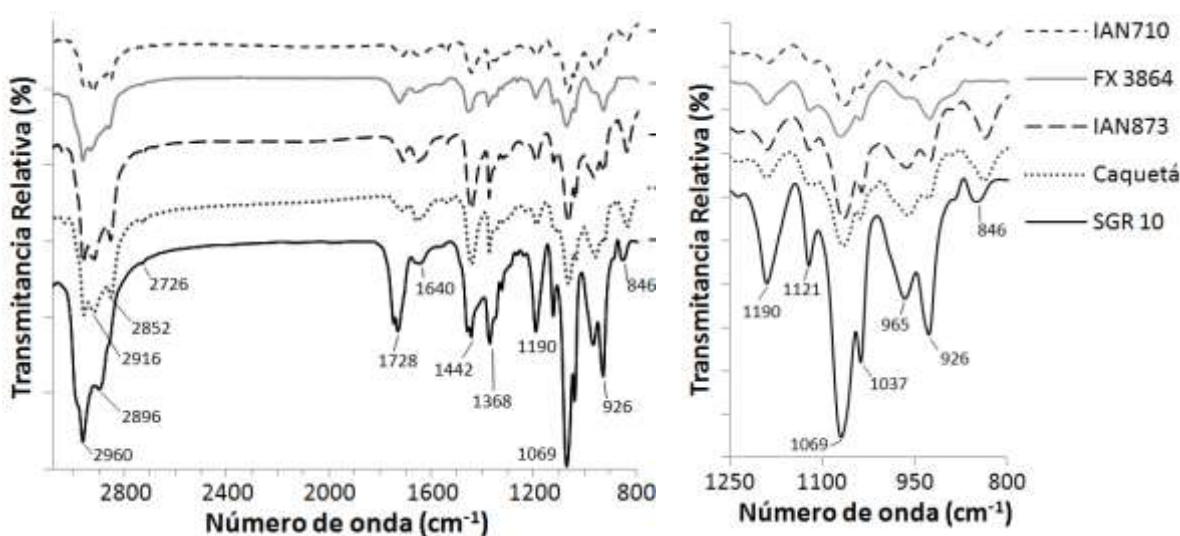


Figura 1. Espectro FTIR de los cauchos naturales estudiados.

Los picos en las regiones próximas a 2850 y 2920 cm^{-1} corresponden a los estiramientos simétrico y asimétrico del grupo metilo, y en la región de 2960 se encuentra el estiramiento simétrico y asimétrico del C-H en el grupo funcional CH_3 [15]. En la región de 1660 y 1544 cm^{-1} se observa vibración de estiramiento asociado al doble

enlace C=C [16], en 1444 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 axial del enlace C-CH₂ en el plano, en 840 cm^{-1} un pico fuerte asociado a la flexión del C-H fuera del plano en el grupo funcional C=C que se describe como típica de la cadena del cis-1,4 y en 756 cm^{-1} un pico que corresponde a vibraciones del enlace C-C en el grupo funcional $-(\text{CH}_2)_x-$ [15,17]. Las tres variedades clonales cultivadas en Tarazá poseen espectros muy similares a los cauchos técnicamente especificados de Caquetá y SGR 10, con las bandas atribuibles al poli(*cis*-1,4-isopreno), pero se encuentran diferencias en las intensidades de algunas bandas como 2962, 2918, 2852, 1444, 1376, 842 y 756 cm^{-1} que son representativas del caucho natural, diferencias que posteriormente serán consideradas para el análisis de los demás resultados obtenidos en el trabajo. Los picos de absorción a 1658 y 1544 cm^{-1} son más fuertes en el IAN873 y el FX3864 que en los demás materiales, siendo menos fuertes en el IAN710 y con las menores intensidades en los cauchos de Caquetá y el SGR10.

La tabla 2 presenta las temperaturas de transición vítrea (Tg) de los materiales, obtenidos por MDSC, en la cual se puede observar que los resultados son muy similares para los materiales estudiados.

Tabla 2. Temperaturas asociadas a la transición vítrea (Tg) de los materiales estudiados.

Material	Tg inicial (°C)	Tg final (°C)	Tg (°C)
IAN 710	-67.45	-65.45	-63.80
SGR10	-66.85	-64.92	-63.07
IAN 873	-67.08	-64.98	-63.24
Caquetá	-67.12	-63.34	-64.98
FX3864	-66.65	-64.86	-63.01

La figura 2 muestra las curvas de TGA obtenidas, encontrando que la descomposición comienza aproximadamente a 300 °C y termina a temperaturas próximas a los 550 °C perdiendo en el proceso alrededor del 99% de la masa, observándose el hombro típico de los cauchos naturales[18].

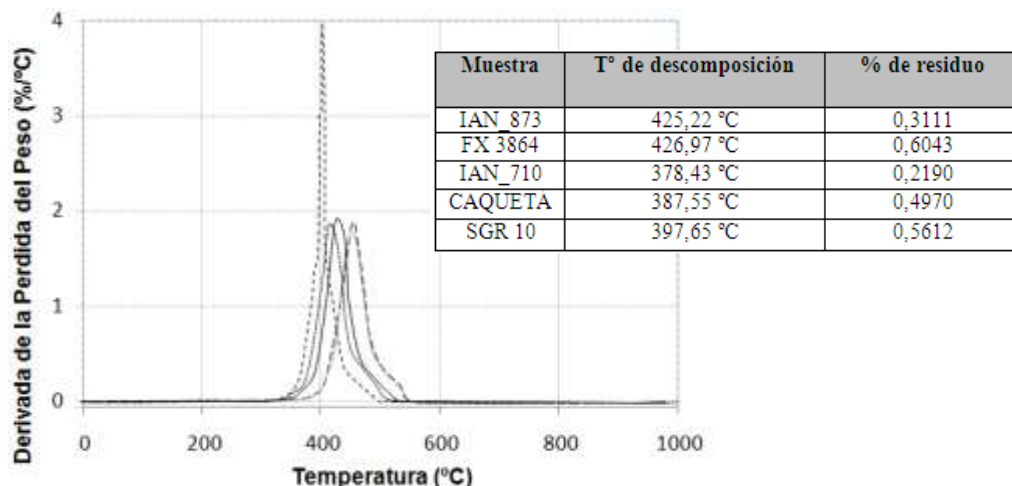


Figura 2. Termograma comparativo de los cinco cauchos naturales.

El IAN710 mostró una temperatura de descomposición térmica significativamente más baja que los demás materiales, y el IAN873 y el FX3864 muestran unas temperaturas de descomposición más alta que los demás materiales. Al terminar el análisis se encontraron residuos entre 0.2% y 0.6% en peso, siendo el contenido más bajo para el IAN710 (0.22 %) y el contenido más alto para el FX3864 (0.60 %). El residuo obtenido después de la degradación termo-oxidativa a 550 °C se asocia a cenizas comunes en el látex al salir de la corteza o impurezas que contaminaron el látex durante la extracción y coagulación en la plantación [19].

Se obtuvieron las mezclas crudas y se determinó su densidad, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4. El coeficiente de variación máximo encontrado al considerar cada mezcla fue de 0.5%, y un análisis ANOVA permitió confirmar que el tiempo de vulcanización no tuvo efecto en la densidad y por lo tanto la

variabilidad inherente al proceso de pesaje de los componentes de formulación y masticación en molino no generó una diferencia estadísticamente significativa entre los componentes de las mezclas.

Tabla 4. Densidad para las diferentes variedades clonales de caucho natural para las probetas de compresión y tracción.

Material	Tiempo de vulcanización de probetas cilíndricas				Tiempo de vulcanización de probetas tipo corbatín				
	5:00min	5:30 min	6:00 min	6:30 min	6:30 min	7:00 min	7:30 min	8:00 min	8:30 min
FX 3864	1,093±0,006	1,109±0,003	1,110±0,001	1,111±0,000	1,102±1,103	1,103±0,002	1,113±0,008	1,106±0,004	1,105±0,003
IAN 873	1,110±0,003	1,111±0,000	1,112±0,001	1,111±0,001	1,109±1,111	1,111±0,000	1,110±0,000	1,106±0,003	1,099±0,014
IAN 710	1,104±0,002	1,105±0,001	1,106±0,001	1,104±0,002	1,103±1,109	1,109±0,006	1,106±0,003	1,106±0,003	1,106±0,007
SGR 10	1,108±0,000	1,108±0,001	1,108±0,001	1,108±0,000	1,106±1,105	1,105±0,003	1,098±0,004	1,107±0,001	1,108±0,001
CAQ	1,103±0,000	1,105±0,002	1,104±0,000	1,105±0,002	1,102±1,103	1,101±0,000	1,103±0,001	1,107±0,008	1,108±0,000

La figura 3 muestra los resultados de las pruebas de reometría de vulcanización a las 5 mezclas.

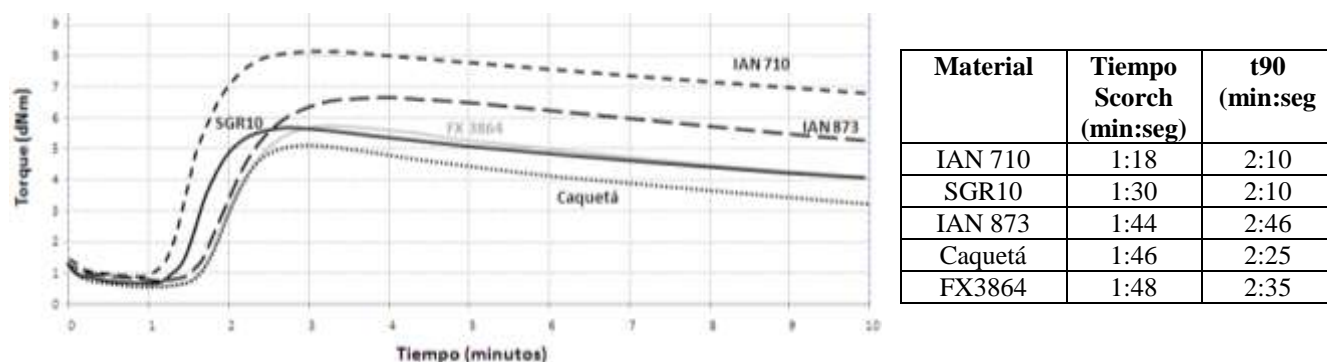


Figura 3. Curvas reométricas comparativas de las cinco mezclas efectuadas con los cauchos naturales estudiados.

Se observan diferencias significativas entre las reometrías de las mezclas, encontrando que la formulación con IAN 710 presentó el mejor tiempo de procesabilidad y el mayor torque, es decir, el mejor resultado. La mezcla con SGR 10 presenta el segundo mejor tiempo de proceso, pero con un torque máximo similar a la mezcla con FX3864, siendo ambos inferiores al de la mezcla con IAN 873. La mezcla con material de Caquetá presenta un tiempo scorch y t90 ligeramente inferiores a los de la mezcla con FX3864, pero con el menor torque de todas las mezclas. En todos los casos se observó la reversión típica del caucho natural.

Los tiempos óptimos de vulcanización para las geometrías cilíndrica y tipo corbatín se determinaron evaluando dureza, propiedades determinadas en pruebas de tracción y compresión uniaxial. El efecto del tiempo de vulcanización en la dureza de ambos tipos de geometría se muestra en la figura 4, y la variación del módulo elástico bajo compresión y del módulo al 100% con el tiempo de vulcanización se muestra en la figura 5.

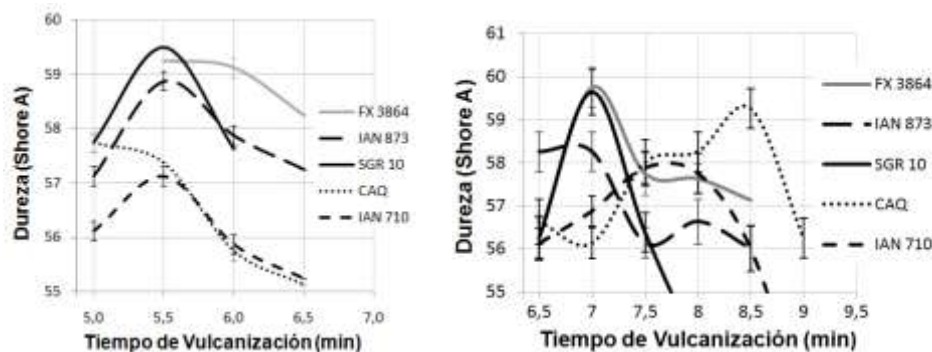


Figura 4. Curvas dureza vs tiempo de vulcanización para las probetas cilíndricas (izquierda) y tipo corbatín (derecha) para las mezclas estudiadas ya vulcanizadas.

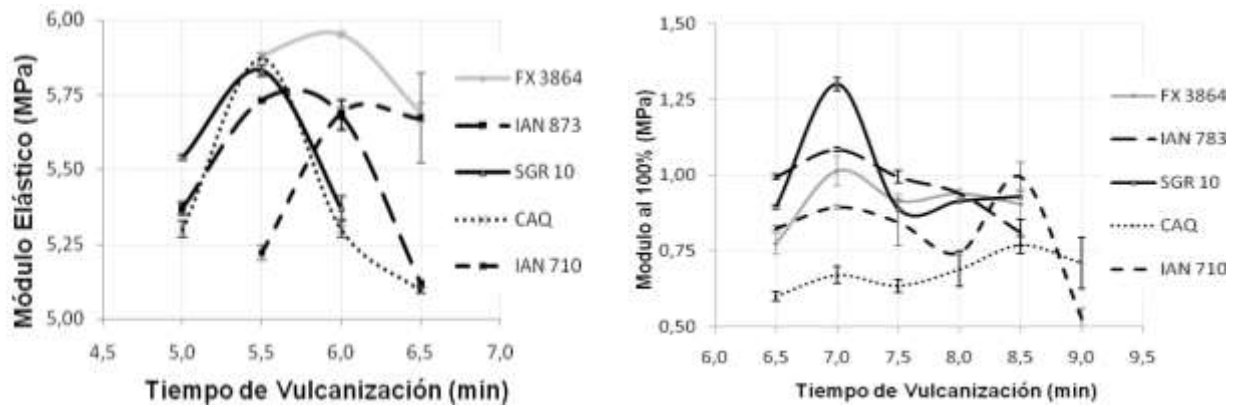


Figura 5. Módulo elástico bajo compresión uniaxial (izquierda) y módulo al 100% en tracción (derecha) de las mezclas versus el tiempo de vulcanización.

Las curvas presentan un máximo al variar el tiempo de vulcanización, lo cual se asocia a la reversión del caucho natural. Los tiempos óptimos de vulcanización varían según la mezcla, recordando que el módulo elástico bajo compresión uniaxial y el módulo al 100% en tracción son más representativos de los compuestos vulcanizados que la dureza Shore A, que toma mediciones localizadas de carácter superficial aunque es una prueba de amplia aplicación industrial dada su fácil realización en planta, como control de calidad. En las probetas cilíndricas se observó que los menores tiempos de vulcanización corresponden al SGR 10 y al caucho de Caquetá, seguido por el IAN 873; las mezclas con IAN 710 y FX 3864 presentan el mayor tiempo óptimo de vulcanización. En las probetas tipo corbatín los menores tiempos óptimos de vulcanización se encontraron para el SGR 10, el IAN 873 y el FX3864, y los mayores tiempos se observaron para las mezclas con IAN 710 y material del Caquetá. Con las condiciones óptimas de vulcanización para cada mezcla se procedió a fabricar las probetas para pruebas de tracción, compresión y compresion-set. En la figura 6 se muestran los resultados de estas pruebas.

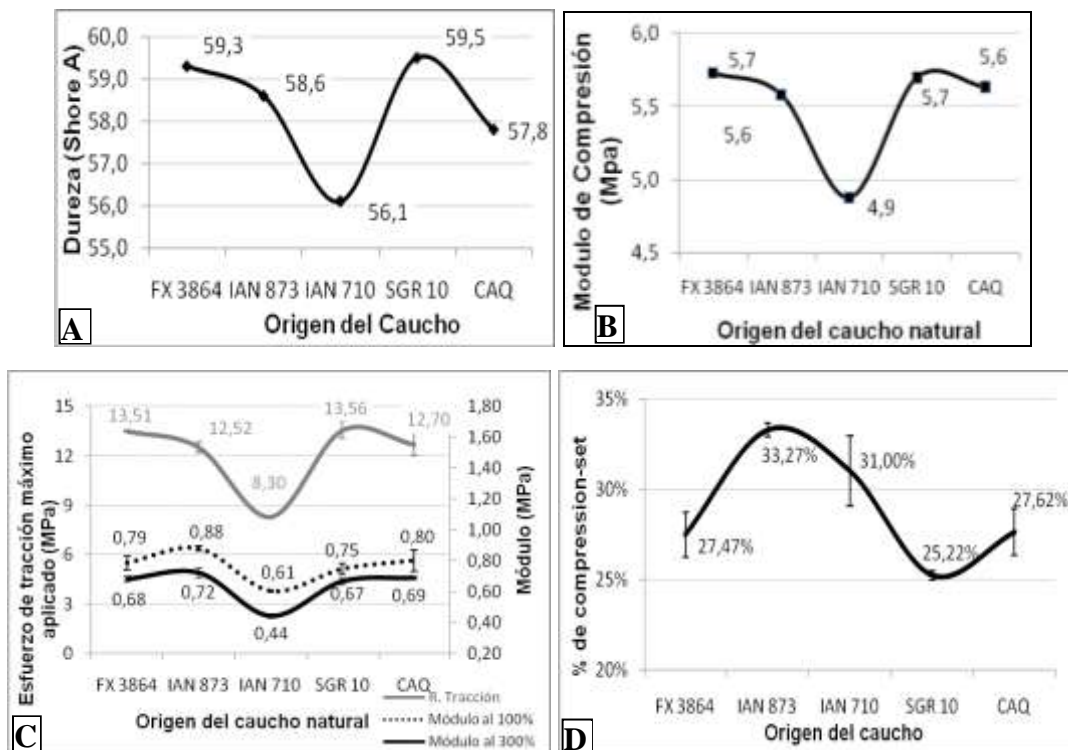


Figura 6. Valores de dureza (A), módulo de compresión (B), resistencia a tracción y modulos a tracción (C) y compresión set (D) para las diferentes variedades clonales de caucho natural en su tiempo óptimo de vulcanización.

La mezcla con IAN710 muestra las menores propiedades mecánicas de los materiales estudiados, mientras que las propiedades de las mezclas con SGR10 y FX3864 son superiores a las de los demás materiales, y son muy similares entre sí. Las mezclas con cauchos del Caquetá e IAN873 presentan propiedades intermedias y muy similares entre sí. El caucho obtenido con SGR10 presentó el menor *compression-set*, el material de Caquetá y el FX3864 valores superiores y los materiales con la peor respuesta a deformaciones permanentes son el IAN873 y el IAN710.

5. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados indican que existen diferencias representativas entre las propiedades mecánicas de los materiales analizados, observando que el caucho proveniente de la variedad clonal FX3864 presenta propiedades superiores a las otras dos variedades clonales cultivadas en el Valle de Santa Clara, alcanzando valores muy similares a los del caucho técnicamente especificado SGR10 proveniente de Caquetá. En cuanto a la procesabilidad de la mezcla determinada por reometría de vulcanización y por la determinación de los tiempos óptimos de vulcanización, también se detectan diferencias apreciables entre los compuestos, aspecto que sumado a la diferencia en propiedades mecánicas debe ser considerado por los cultivadores al momento de seleccionar las variedades clonales a explotar en la región, así como por la industria cauchera con miras a estandarizar sus procesos de producción.

El análisis por FTIR y por MDSC no permitió asociar las diferencias en propiedades encontradas a diferencias entre los espectros y la temperatura de transición vítrea, por lo cual se plantea efectuar en el futuro cercano un estudio detallado al respecto. El análisis por TGA demostró que el caucho proveniente de la variedad clonal IAN 710 presenta la menor temperatura de descomposición, mientras que los cauchos de las variedades FX3864 e IAN 873 presentan las mayores temperaturas de descomposición entre los cauchos estudiados, una demostración más de las diferencias entre propiedades de estos materiales.

Los cultivadores de caucho natural en Colombia deben efectuar modificaciones al método de selección de las variedades clonales a cultivar, dado que en los resultados de este trabajo han demostrado que las características de los materiales obtenidos son sensibles al tipo de clon de origen del caucho natural. En la región de estudio el caucho proveniente de la variedad clonal FX3864 demostró poseer las mejores propiedades mecánicas y la mejor estabilidad térmica, superando a los otros dos materiales, mientras que el IAN 710 demostró poseer propiedades significativamente más bajas. Deben efectuarse nuevos estudios que evalúen el efecto de las condiciones climáticas como temperatura ambiente y humedad en las propiedades de los cauchos naturales producidos, tal y como lo han realizado investigadores del área del caucho principalmente de países con gran tradición cauchera. Se planteó una metodología para la determinación de tiempos óptimos de vulcanización de mezclas de caucho que puede ser utilizada en piezas vulcanizadas en plantas de producción, como una alternativa a la práctica más tradicional de determinar la dureza Shore A, metodología que demostró ser sensible al tipo de caucho natural usado en cada formulación.

La industria cauchera, en este caso la colombiana, debe estar permanentemente atenta a las propiedades de los cauchos naturales que usan como materia prima dado que las características de este tipo de materiales dependen del tipo de variedad clonal de origen, evidenciando la necesidad de fortalecer el trabajo conjunto con los cultivadores de la región de tal manera que ambos sectores se ven beneficiados mutuamente mediante el mejoramiento de sus procesos.

REFERENCIAS

- [1] Dinámica del caucho natural en Colombia y el mundo. 2002 – 2006. [En línea]<www.sltcaucho.org/caucho_colombia.pdf>[Citado el 7 de enero de 2010] .
- [2] L. C. S. de Oliveira, D. P. de Rosa, E. J. de Arruda, R. B. da Costa, P. S. Gonçalves y Angela Delben. Comparative studies of latex obtained of rubber tree clones (*Hevea Brasiliensis*) – Series IAC 328 – Votuporanga – sp. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 75 (2004) 495–500.
- [3] L.C.S. de Oliveira, E.J. de Arruda, S.P. Favaro, R.B. da Costa, P.S. Gonc,alves, A.E. Job. Evaluation of thermal behavior of latex membranes from genetically improved rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Thermochimica Acta* 445 (2006) 27–31.

- [4] P.S. de Gonçalves, N. Bortoletto, E.L. Furtado, Sambugaro, O.C. Bataglia, A.A. Ortolani, Desempenho de clones de seringueira da série IAC-300 selecionados para a região noroeste do estado de São Paulo, Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasília) 36 (4) (2001) 589–598.
- [5] L.C.S. de Oliveira, E.J. de Arruda, R.B. da Costa, P.S. Gonçalves, A. Delben. Evaluation of latex from five Hevea clones grown in São Paulo State, Brazil. ELSEVIER. Thermochemica Acta 398 (2003) 259–263.
- [6] Maria A. Martinsa, Rogério M.B. Morenoa, Colleen M. McMahan, Jenny L. Brichtac, Paulo de S. Gonçalvesb, Luiz H.C. Mattosoa. Thermooxidative study of raw natural rubber from Brazilian IAC 300 series clones. ELSEVIER. Thermochemica Acta 474 (2008) 62–66.
- [7] Katrina Cornish, Michele D. Myers, Stephen S. Kelley. Latex quantification in homogenate and purified latex samples from various plant species using near infrared reflectance spectroscopy. ELSEVIER. Industrial Crops and Products 19 (2004) 283–296.
- [8] R. Ebeuele, Polymer Science and Technology, (2000), (*libro*).
- [9] ASTM D5289 - 07a Standard Test Method for Rubber Property-Vulcanization Using Rotorless Cure Meters.
- [10] ASTM D395 -03 Standard Test Methods for Rubber Property—Compression Set. 2008.
- [11] ASTM D412 Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension.
- [12] ASTM D575 - 91 Standard Test Methods for Rubber Properties in Compression. 2007.
- [13] ASTM D2240 - 05 Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.
- [14] ASTM D792 - 08 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.
- [15] Ana C. Dall’Antonia, Maria A. Martins, Rogério M. B. Moreno, Luiz H. C. Mattoso, Paulo S. Gonçalves e Aldo E. Job, Caracterização Mecânica e Térmica da Borracha Natural Formulada e Vulcanizada dos Clones: GT 1, IAN 873, PB 235 e RRIM 600. Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 1, p. 63-71, 2009 63
- [16] M., Forrest, Y., Davies, and J., Davies. The rapra collection of infrared spectra of rubbers practices and thermoplastic elastomers, 2nd edición, 1997, by Rapra technology limited
- [17] Yodthong Baimark, Noi Niamsa. Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of natural rubber sheets. ScienceDirect, Biomass and Bioenergy 33 (2009) 994-998
- [18] Brazier, D. W. Applications of thermal analytical procedures in the study of elastomers and elastomer system. Rubber Chem. Technol.1980, 53, 437–511.
- [19] E.J. Andrade Campo, Síntesis de óxido de zinc (ZnO) con morfología acicular para ser utilizado como refuerzo de elastómeros, Tesis de Grado Universidad del Cauca, (2005).