

Aditivos para el procesamiento del caucho natural y su aplicación en pequeñas plantaciones de caucho¹

Additives for processing natural rubber and their application in small rubber plantations

Recibido 20-09-2014 Aceptado 18-11-2014

Gabriel Jaime Peláez Arroyave²
Sandra Milena Velásquez Restrepo³
Diego Hernán Giraldo Vásquez⁴

Resumen

Se presenta una revisión de literatura sobre cómo los aditivos usados en los procesos de beneficio del caucho natural modifican las propiedades del látex líquido o caucho seco en forma de láminas o coágulos, productos que pueden obtenerse en plantaciones de caucho como las que abundan en Colombia. Se consideran las ventajas y desventajas del uso de los aditivos, resaltando la disminución del impacto ambiental y suministrando criterios para reemplazar sustancias tradicionalmente usadas pero que implican riesgos para la salud. Se encontraron pocas investigaciones cuyo objetivo principal fuera evaluar el efecto de los aditivos empleados durante el beneficio en las propiedades del látex líquido o el caucho sólido. Se recurrió, por lo tanto, a identificar en los estudios dedicados al procesamiento del caucho natural aquellas secciones que tratan el efecto de los aditivos en las propiedades del látex o del caucho sólido. Se identificó una marcada tendencia para eliminar total o parcialmente el uso de amoníaco como estabilizante del látex, y para usar sustancias naturales como algunos vinagres para reemplazar los ácidos fórmico y acético en el proceso de coagulación del látex fresco. Estas son alternativas viables para ser implementadas en los procesos que se llevan a cabo en pequeñas plantaciones de caucho de Colombia.

Palabras clave: Beneficio; heveicultura; estabilización del látex; coagulación de látex.

Abstract

This study presents a literature review on how the additives used for natural rubber (NR) processing modify the properties of liquid latex or solid rubber (field coagula or sheets)—products that can be obtained in small rubber plantations such as those existing in Colombia. The advantages and disadvantages of using additives are considered, highlighting reduced environmental impact and definition of criteria to replace traditionally used substances but that pose health risks. Only a few studies address the effect of the additives used in NR processing on the properties of liquid latex or solid rubber. This review accordingly focused on identifying sections in NR processing studies, addressing the effect of chemical additives on the properties of liquid latex or solid rubber. A marked trend for total or partial elimination of ammonia as main latex stabilizer was observed, as well as the use of natural additives such as vinegar to replace formic and acetic acids in the coagulation of fresh latex. These are viable alternatives to be implemented in the processes carried out in the small rubber plantations of Colombia.

Keywords: Processing; rubber cultivation; latex stabilization; latex coagulation.

1. Informe final de estudio en ejecución financiado por la Gobernación de Antioquia (Colombia), iniciado en noviembre de 2013.
2. Colombiano, Ingeniero de Materiales, Candidato a Magíster, Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.
3. Colombiana, MsC. en Ingeniería, Magíster Especialista en Gerencia. Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Bioingeniería, Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.
4. Colombiano, MsC. en Ingeniería Profesor del programa de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Ingeniero Mecánico, Grupo de Materiales Poliméricos.

Introducción

Desde el descubrimiento de la vulcanización, a mediados del siglo XIX, el caucho ha incrementado su participación en el mercado hasta representar actualmente un material de alta utilización en sectores como el automovilístico, aéreo (Hirata, Kondo, and Ozawa, 2014), prendas de vestir y calzado (Smit and Burger, 1992), sellamiento de fluidos (Chandrasekaran, 2010), mangueras (Tully, 2011) y utensilios deportivos (De and White, 2001), para citar los más relevantes. Incluso algunas fuentes sostienen que el consumo de caucho es una medida indirecta del crecimiento económico global y la industrialización de un país (Bruinsma, 2003), en particular del crecimiento del sector automotriz, dado que entre el 65 y el 70 % del caucho producido en el mundo es utilizado para la fabricación de llantas (Original Equipment, Support and Service and Industria [OESS], 2008).

Si bien el desarrollo de los cauchos sintéticos a mediados del siglo XX desplazó en buena medida el uso del caucho natural, en las últimas dos décadas el caucho natural ha representado aproximadamente el 40% del mercado mundial de caucho (International Rubber Study Group [IRSG], 2014). Un factor decisivo para esta tendencia es no haber logrado desarrollar cauchos sintéticos que equiparen las propiedades mecánicas y la histéresis del caucho natural (Beilen and Poirier, 2007), dada la capacidad de éste de cristalizar como efecto de la deformación (Le-Gac *et al.*, 2014; Kohjiya *et al.*, 2007; Murakami *et al.*, 2002) y los aminoácidos presentes en los extremos de sus cadenas poliméricas (Tuampoemsab, 2008); es importante enfatizar entonces que tras 60 años de investigaciones y desarrollos, no se ha obtenido un caucho sintético con la excelente relación costo/desempeño del caucho natural (Beilen and Poirier, 2007; Vaysse, Sainte-Beuve, and Bonflis, 2003; Silva *et al.*, 2012).

Las tendencias descritas hacen que la demanda mundial por el caucho natural se haya incrementado en las últimas décadas (OESS, 2008; FPT Securities Joint Stock Company, 2013), considerándolo como un commodity comparable incluso con la palma de aceite o el cacao (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1990). Proyecciones del International Rubber Study Group - IRSG señalan que para el año 2015 la demanda mundial por caucho natural crecerá un 4,4 % con respecto al 2014 (IRSG, 2014), continuando el comportamiento creciente de los últimos años; se estima que para el 2023 la demanda de caucho natural se incremente en un 60% con respecto al consumo actual (IRSG, 2014; Alves *et al.*, 2013).

Países como Malasia, Tailandia, Vietnam, Indonesia (Barlow, Jayasuriya, and Tan, 1994) y Guatemala (BusinessCol.com,

2008) encontraron en el cultivo y beneficio del caucho natural una actividad económica importante. Emulando esas experiencias, entidades privadas y estatales vienen impulsando decididamente la heveicultura en Colombia, teniendo en cuenta la disponibilidad de tierras con las condiciones climáticas y de suelo adecuadas, buscando simultáneamente mitigar la exclusión y pobreza que se observan en algunas de esas regiones heveícolas, generando entonces nuevas posibilidades de desarrollo económico (Clavijo, 2004; Espinal, *et al.*, 2005). Sin embargo, es importante tener en consideración que actualmente la producción nacional de caucho natural no satisface la demanda del mercado interno, ni cumple con los requisitos técnicos exigidos por el mercado internacional, por lo que la heveicultura nacional debe mejorar los procesos productivos y buscar la obtención de productos con mejores especificaciones técnicas, acordes con las necesidades industriales, y de esa manera aumentar su competitividad (Blanco, 2009). La producción nacional debe implementar rigurosos estándares de calidad para obtener látex y caucho sólido con propiedades estandarizadas, con valor agregado, de alto desempeño y que satisfaga los requisitos de la industria nacional e internacional.

Uno de los principales retos para la heveicultura en Colombia es que durante la implementación de buena parte de los cultivos existentes en la actualidad, el material vegetal empleado no estaba adecuadamente identificado, o estaba mezclado con otras variedades clonales, de tal manera que existen cultivos en los cuales no se conoce con certeza el material vegetal cultivado. Ante esta situación, se vienen realizando investigaciones para aclarar este interrogante (Blanco, 2009), ganando experiencia en el manejo y selección de clones, lo que debe verse reflejado en mejoras en la calidad de los materiales y en la productividad de los cultivos. Otro factor relevante es la necesidad de tecnificar el manejo de las plantaciones y el beneficio del caucho, especialmente en pequeños cultivos ya que es el tipo de plantación con mayores necesidades de mejoramiento; esta situación se ha traducido en una baja productividad y condiciones inadecuadas de calidad que le han restado competitividad al caucho natural colombiano (Espinal *et al.*, 2005).

Considerando que pueden emplearse diversos aditivos para controlar las propiedades de la dispersión coloidal de látex de caucho natural según se desee producir látex estabilizado, lámina, coágulos, cintilla, caucho crepé o caucho técnicamente especificado (De and White, 2001; Espinal *et al.*, 2005; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MinAgricultura, 1992; Souza, 2013; Sridee, 2006),

una interesante alternativa para producir materiales con baja variabilidad y altos estándares de calidad consiste en incorporar el uso de aditivos en el proceso de beneficio, de acuerdo con estudios reportados en la literatura especializada. Este trabajo presenta una revisión de los estudios publicados sobre este tema, y reseña la manera cómo el uso de aditivos altera las propiedades finales de los productos cuando son empleados en el proceso de beneficio del látex. Se pretende también proponer alternativas para el mejoramiento del beneficio del caucho natural que se efectúa en los pequeños cultivos que abundan en la heveicultura nacional, disminuir la variabilidad de las propiedades de los productos, generar valor agregado y atender los requisitos técnicos de la industria nacional e internacional.

Aditivos empleados en el proceso de beneficio del caucho natural

Se han publicado diversos estudios sobre la influencia que tienen los aditivos utilizados durante los procesos de mezclado, vulcanización y formado en las propiedades físicas y mecánicas de compuestos basados en caucho natural. Se pueden encontrar descripciones sobre la influencia de la cantidad y tipos de agentes de vulcanización, activadores (González, Álvarez, and Abreu, 2008), acelerantes, (Travas-Sejdic *et al.*, 1996; Kamoun, Nassour, and Michael, 2009), retardantes a la llama (Na *et al.*, 2013) y lubricantes (Menon *et al.*, 2002) en las propiedades mecánicas de los productos de caucho natural. Pero la influencia de las sustancias químicas que entran en contacto con el caucho durante las etapas iniciales del proceso de beneficio sobre las propiedades del producto final es un asunto prácticamente inexplorado, a pesar de que se conoce que este tipo de aditivos pueden afectar dichas características (Kongkaew *et al.*, 2012; Intapun, 2009).

Entre los principales aditivos utilizados en el proceso de beneficio del caucho se encuentran los estabilizantes del látex cuya función es mantener la dispersión coloidal y prevenir su coagulación espontánea, los conservantes que evitan la putrefacción del caucho, los diluyentes son utilizados para disminuir la concentración del látex facilitando su filtrado y posterior laminado, los acidificantes que se encargan de reagrupar las partículas dispersas en el látex y separarlas de los productos no elastoméricos allí presentes y los coagulantes que se ocupan de concentrar las partículas.

Estabilizantes de látex líquido

Uno de los estabilizantes de látex más utilizado en el proceso convencional de beneficio del caucho es el amonio (normalmente en la forma de amoníaco), que además posee características favorables como ser bactericida y desactivador de los iones de magnesio. Sin embargo,

también presenta importantes desventajas como la generación de vapores de amonio que resultan perjudiciales para la salud de los trabajadores de la cadena del caucho, e incluso corrosivos para las instalaciones donde es procesado; otra desventaja está en que debido a su alta volatilidad, su concentración en el látex puede variar con cortos tiempos de almacenamiento, afectando las propiedades del producto final (Kongkaew, Loykulnant, and Chaikumpollert, 2012; Singh *et al.*, 2014). Es común también encontrar el sistema de estabilización compuesto por amoniaco de baja concentración, tetrametiltriuran disulfito (TMTD) y óxido de zinc (ZnO) (De and White, 2001), que si bien es de más fácil manipulación que el amoníaco tradicionalmente usado, no elimina totalmente las dificultades asociadas al uso de amoníaco. Debido a las desventajas del amoníaco, desde hace sesenta años se han evaluado otras alternativas de sustancias estabilizantes para que lo sustituyan, tales como el formol, el sulfito o bisulfito de sodio, cianuro de sodio y soda cáustica, aunque ninguno de ellos es tan efectivo como el amoníaco (Wisniewski and Rohnelt, 1947). Se han venido desarrollando otros compuestos como los fenoles alcalinizados, sales ácidas sulfuradas, sales ácidas estéricas, mezclas de ácido cinámico, alcohol butílico, ácido sulfúrico e formaldehído, entre otros (Kongkaew *et al.*, 2012; Booten, Hashim, and Singh, 2011).

En un estudio realizado en Tailandia (Chaikumpollert *et al.*, 2000), el país con la mayor producción de caucho natural en el mundo, se buscó la sustitución de una mezcla de amoníaco con TMDT y ZnO que es el estabilizante más comúnmente usado en este país, con el objetivo de disminuir la cantidad de amoníaco presente en el proceso de beneficio del caucho, para atenuar los efectos negativos ya mencionados. Se evaluaron aditivos químicos como sulfato de zinc (ZnSO_4), nitrato de plata (AgNO_3), plata proteínica o plata colidal, hidróxido de litio (LiOH), hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), etanolamina ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$), metil 1-4 hidroxibenzoato y propil 1-4-hidroxibenzoato. La eficacia de la estabilización fue medida a través de la determinación del número de ácidos grasos volátiles (número VFA) y el conteo de microorganismos en una solución del látex estabilizado. Se encontró que el uso de ZnSO_4 junto con una baja concentración de amoníaco (0,4 % en comparación con los 0,7 % usados normalmente), como sustituyente de la mezcla TMDT con ZnO, tiene la ventaja de no formar la sustancia cancerígena nitrosamina, además de poderse adicionar en forma de solución acuosa. Este nuevo estabilizante redujo el número VFA en relación con la mezcla común tras un mes de estabilización, sosteniendo otras características del látex como tamaño de partícula y viscosidad casi inalteradas; además, este compuesto aumentó la acción antimicrobiana del estabilizante. Los

autores concluyeron que bases fuertes y bases orgánicas también poseen cualidades que ayudan a la estabilización del látex.

Además de los aditivos con propiedades anticoagulantes, se han identificado otros derivados de fenoles y crisoles que se comportan principalmente como germicidas y fungicidas, pero que actuando por sí solos no consiguen evitar la coagulación del látex. Su efecto se logra cuando se usan en conjunto con las propiedades anticoagulantes de los estabilizantes. Uno de los más conocidos es el cloropentano de sodio, comercializado como Santobrite® (Wisniewski and Rohnelt, 1947). Sin embargo, en esta revisión no se encontraron estudios que evaluaran la influencia de este tipo de aditivos en las propiedades finales del látex de caucho natural.

Aditivos para la producción de lámina

En algunas ocasiones se requiere el empleo de algún diluyente para el látex para facilitar el filtrado y el proceso de laminación, siendo el agua el más usado (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 1992), teniendo en cuenta que este proceso tiene una gran influencia en la viscosidad y en la estructura de los coloides (Cecil and Mitchell, 2005). El proceso de dilución con agua también es utilizado para la extracción de proteínas de bajo peso molecular presentes en la suspensión coloidal del látex, que comúnmente son causantes de diversas alergias cuando entran en contacto con las personas que trabajan en el proceso de beneficio y transformación del caucho, e incluso de aquellos que utilizan el producto final (Sussman, Beezhhold, and Kurup, 2002; Tomazic-Jezic and Lucas, 2002; Shah and Chowdhury, 2011).

Algunos autores afirman que el proceso de dilución con agua no es totalmente eficaz en la eliminación de proteínas (Maznah *et al.*, 2008a), por lo cual en su trabajo sumergieron películas de látex de caucho natural prevulcanizadas en una solución de KOH y midieron el contenido de proteínas, propiedades mecánicas en tracción y la densidad de entrecruzamiento en función del potencial de hidrógeno (pH) de la solución, que es una medida de la acidez o basicidad de la misma, indicando la concentración de iones hidronio (H_3O^+). La investigación mostró que la solución de KOH permite reducir la cantidad de proteínas extraíbles debido a que las degrada, lo que facilita su extracción del sistema. Sin embargo, el proceso causa una reducción significativa en la densidad de entrecruzamiento, lo cual disminuye la resistencia a la tracción y el módulo elástico, a la vez que aumenta la deformación en la rotura.

Dado que el proceso de lavado con soluciones básicas reducía las propiedades mecánicas finales del caucho

natural, (Maznah *et al.*, 2008b) trataron en un nuevo trabajo el látex de caucho natural con una solución acidificante de (HCl) al 7 % en masa, y evaluaron la influencia de este procedimiento sobre las mismas propiedades mencionadas en el estudio anterior, nuevamente en función del pH. Los resultados mostraron que a diferencia del proceso de lavado con solución básica, este procedimiento acidificante reducía la cantidad de proteínas extraíbles (debido a la acción del ácido que las torna insolubles), con leves disminuciones de la densidad de entrecruzamiento y de las propiedades de resistencia a la tracción y deformación de ruptura, además de prácticamente no generar alteraciones en el módulo elástico.

Un método estudiado en Brasil para el beneficio de láminas de caucho natural consistió en el uso de humo ácido proveniente de la producción local de carbón vegetal (Ferreira *et al.*, 2005), comparando las propiedades de las láminas tratadas de esa manera con las de láminas coaguladas con ácido acético y fórmico, soluciones usadas tradicionalmente. Los resultados mostraron que la dureza, la resistencia a la tracción y deformación en la rotura de todas las láminas no presentaban diferencias significativas entre sí.

Se han evaluado los vinagres de diferentes plantas como palma de coco, bambú y eucalipto como agentes coagulantes (Baimark and Niamsa, 2009; Prasertsit, Rattanawan, and Ratanapisit, 2011; Baimark *et al.*, 2008; Mela *et al.*, 2013), comparando las láminas coaguladas con esos vinagres con láminas obtenidas coagulando con los tradicionales ácidos acético y fórmico. Los análisis evidenciaron que los vinagres naturales son eficientes para ser usados como agentes coagulantes, ya que propiedades como contenido de caucho seco, contenido de impurezas, viscosidad Mooney e índice de retención de plasticidad son muy similares para todos los agentes coagulantes, mientras que el carácter bactericida y propiedades mecánicas como resistencia a la tracción y deformación en la rotura de las láminas coaguladas con vinagres naturales fueron superiores a las de las láminas coaguladas con ácido acético y fórmico.

Antioxidantes

Dado que el caucho natural, como cualquier otro polímero, es susceptible a la degradación oxidativa que disminuye algunas propiedades físicas, otros aditivos importantes para el proceso de beneficio del látex son los antioxidantes (Abad *et al.*, 2002). La oxidación del caucho natural se debe a la formación de radicales libres que pueden propagar las reacciones de ruptura de la molécula de caucho (Al-Malaika, 1991; Bernard and Lewis, 1988), por lo tanto los antioxidantes, bien sea naturales o sintéticos, previenen esta reacción oxidativa. Los aminoácidos no solubles en agua han

demostrado tener propiedades antioxidantes, como es el caso de la cistina, la asparagina y la alanina que han atenuado el envejecimiento del látex del caucho natural (Abad *et al.*, 2002; Sasiradhan *et al.*, 2001). Buscando mejorar la baja resistencia del caucho natural epoxidado al envejecimiento, Luo *et al.* (2012) mostraron que el uso de estearato de neodimio como estabilizante térmico, hasta una concentración óptima, puede acelerar el proceso de vulcanización y aumentar levemente la resistencia a la tracción y la deformación en la rotura. Sin embargo, reduciendo levemente la densidad de entrecruzamiento. Yang *et al.* (2013) mostraron que la adición de antioxidantes como el poli-2,2,4-trimetil-1,2-dihidroquinolina, el N-isopropil-N'-fenil-p-fenilenediamina, N-(1,3-dimetilbutil)-N'-fenil-p-fenilendianina y el 2-mercaptobenzimidazola genera diferentes valores de densidad de entrecruzamiento, resistencia a la tracción y resistencia al envejecimiento térmico, por lo tanto la elección del antioxidante debe basarse en las propiedades finales deseadas. Teniendo en cuenta que en el mercado internacional se emplean más de 40 grados diferentes de especificaciones para el caucho natural seco (De and White, 2001; Naranjo, 2013), entre ellos los cauchos técnicamente especificados (TSR) en la forma de bloques, los grados sin especificación técnica como el caucho crepé y las láminas (Cecil and Mitchell, 2005), la elección de los aditivos debe considerar el tipo de caucho que se ha de obtener ya que los sistemas de clasificación comprenden el tipo de látex, el sistema de coagulación y las propiedades del caucho seco (American Society for Testing and Materials ASTM, 2011). Por ejemplo, para obtener un caucho seco tipo TSR-L, debe usarse un látex estabilizado con amoníaco o una mezcla de amoníaco y ácido bórico. Inmediatamente después de la formación de los coágulos, debe adicionarse aproximadamente 0,05 % de metabisulfato de sodio para prevenir la aparición de un color amarillo en el material, y finalmente el látex debe coagularse sin dilución usando ácido fórmico hasta un pH de 5. Ya el caucho tipo SMR-CV es conseguido adicionando 0,15 % en peso de sulfato de hidroxilamina neutra al látex previamente preservado con amoníaco, antes de la coagulación ácido (Elastotec Indústria e Comércio de Artefatos de Borracha Ltda ELASTOTEC).

Mitigación del impacto ambiental

Una tendencia marcada en los estudios más recientes ha sido la búsqueda de los llamados aditivos “verdes”, es decir, que producen poco o ningún impacto medioambiental negativo, que puedan sustituir algunos de los aditivos usados tradicionalmente que en su mayoría son de carácter tóxico. En un estudio realizado por Gong *et al.* (2013) se utilizó alginato de dialdehído sódico biodegradable para la inmovilización de las proteínas extraíbles presentes en

el látex, las cuales causan alergias, con el fin de eliminar la etapa de dilución anteriormente descrita. Los resultados mostraron que el uso de este aditivo redujo la cantidad de proteínas extraíbles por debajo de los límites máximos permitidos por las normas que regulan este parámetro, como lo es la norma ASTM D5712, sin alterar significativamente las propiedades mecánicas y además, mejorando la degradabilidad de láminas de látex coagulado.

Sasidharan *et al.* (2001) vulcanizaron el látex exponiéndolo a rayos γ , evitando el uso de algunos aditivos como los acelerantes y el óxido de zinc que se usaba como estabilizante. La disminución en la cantidad de agentes químicos es importante para la fabricación de productos de valor agregado tales como guantes para cirugía, guantes para examinación, preservativos y catéteres. Entretanto, el control de las propiedades mecánicas de este tipo de productos dependerá indirectamente de la acción de otros aditivos (principalmente los agentes coagulantes) y la influencia de los parámetros de procesamiento posterior al tratamiento del látex.

Aspectos del proceso de beneficio realizado en Colombia que ameritan ser evaluados

Se detectaron diferencias entre algunas etapas en el proceso de beneficio del caucho natural realizado en Colombia y el que se describe en la literatura especializada. La principal diferencia encontrada consiste en que, mientras en Colombia la estabilización del látex fresco de campo sólo es realizada cuando se busca producir látex líquido (SENA, 2006; Andrade y Prada, 2005), en algunos estudios consultados se encuentra que la etapa de estabilización es realizada incluso en las tasas de recolección para la producción tanto de látex concentrado como de caucho seco (How Products are Made; Intapun, 2009; De y White, 2001; Marimim *et al.*, 2014). Adicionalmente, en los cultivos colombianos no se usan antioxidantes, bactericidas ni diluyentes diferentes del agua, por lo cual se torna relevante que se consideren las opciones de aditivación referenciadas en este documento.

Conclusiones

Si bien se encontraron pocos trabajos orientados a evaluar la influencia de los aditivos sobre las propiedades físicas y mecánicas del caucho natural, hay información relevante que puede extraerse de estudios relacionados con la caracterización o el procesamiento del caucho natural. Existe mucha más información sobre el uso de aditivos durante los procesos de mezclado y vulcanización de compuestos de caucho, es decir, ya al emplear el caucho natural en formulaciones industriales, pero es pertinente implementar mejoras desde el proceso de obtención del caucho natural como materia prima.

Se identificó que el proceso de beneficio del caucho natural, tanto para producir látex estabilizado como caucho seco, tradicionalmente ha empleado sustancias que pueden afectar la salud de quienes participan de la cadena del caucho. En la literatura especializada se referencia el uso de aditivos que son muy promisorios para sustituir esas sustancias, sin afectar las propiedades del caucho natural e incluso mejorando algunas de ellas. Este hecho, sumado a que la producción de caucho natural se muestra como una alternativa interesante para el desarrollo económico y social de algunas regiones de Colombia que cuentan con tierras disponibles, suelos aptos y clima favorable, pero que esta actividad económica aún requiere mejorar procesos productivos para obtener caucho natural con estándares de calidad internacionales, llevan a los autores de este trabajo a plantear algunas alternativas para implementar aditivos que mejoren los procesos actualmente usados en la cadena productiva nacional.

Las principales tendencias encontradas tienen que ver con el uso de sulfato de zinc para estabilizar el látex y buscar disminuir sustancialmente el amoníaco, lo cual elimina la formación de la nitrosamina que es una sustancia cancerígena con la ventaja adicional de poderse adicionar como solución acuosa. Para la obtención de caucho seco se encontraron trabajos en estado muy avanzado sobre la utilización de una solución acidificante de HCl al 7 % en masa, para mejorar el efecto de la dilución, así como el uso de vinagres naturales de palma de coco, bambú y eucalipto o humo ácido generado durante la producción de carbón vegetal para la coagulación, que reemplaza el ácido acético industrial y el ácido fórmico. Para evitar la oxidación que se presenta en el caucho natural, se encontraron estudios que reportan el uso exitoso de aminoácidos no solubles en agua como la cistina, la asparagina y la alanina.

Los resultados encontrados demuestran que existen alternativas muy viables para ser implementadas en pequeñas plantaciones, para facilitar el procesamiento, mejorar la resistencia a la oxidación del caucho natural y disminuir los riesgos para el medioambiente y la salud del personal que participa en el proceso. No obstante, se identificó también que es necesario profundizar en el efecto del uso de esos aditivos en las propiedades del látex y el caucho seco producido, pues si bien algunos de los estudios consultados reportan poca influencia de los aditivos en las propiedades físicas y mecánicas del producto final, o mejora de algunas de las propiedades, es una línea de investigación que amerita ser profundizada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Gobernación de Antioquia

por la financiación del proyecto “Mejoramiento de la productividad para el desarrollo y aumento en la competitividad en la cadena del caucho natural, mediante un programa de investigación aplicada e innovación en el departamento de Antioquia”, que permitió la elaboración de este trabajo.

Referencias

Abad, L., Relleve, L., Aranjilla, C., Aliganga, A., San Diego, C., and Dela Rosa, A. (2002). Natural antioxidants for radiation vulcanization of natural rubber latex. *Polymer Degradation and Stability*: 275-279.

Al-Malaika, S. (1991). Mechanisms of antioxidant action and stabilization technology - the Aston experience. *Polymer Degradation and Stability*: 1-36.

Alves, L. C., Rubinger, M. M., Tavares, E., Janczak, J., Pacheco, E. B., Visconte, L. L., (2013). Synthesis, Spectroscopic Characterization, Crystal Structure and Natural Rubber Vulcanization Activity of New Disulfides Derived from Sulfonyldithiocarbamates. *Journal of Molecular Structure*: 244-251.

American Society for Testing and Materials. (2011). *Standard Specification for Natural Rubber (NR) Technical Grades*. West Conshohocken: ASTM.

Andrade, A., and Prada, L. (2005). *Diseño Básico de una Planta Procesadora de Látex de Caucho Natural para Diferentes Capacidades de Producción*. Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química, Bucaramanga.

Baimark, Y., and Niamsa, N. (2009). Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of natural rubber sheets. *Biomass and Bioenergy*: 994-998.

Baimark, Y., Threeprom, J., Dumrongchai, N., Srisuwan, Y., and Kotsaeng, N. (2008). Utilization of Wood Vinegars as Sustainable Coagulating and Antifungal Agents in the Production of Natural Rubber Sheets. *Journal of Environmental Science and Technology*: 157-163.

Barlow, C., Jayasuriya, S., and Tan, S. (1994). *The world rubber industry*. Londres: Routledge.

Beilen, J. B., and Poirier, Y. (2007). Establishment of New Crops for the Production of Natural Rubber. *Trends in*

Technology: 522-529.

Bernard, D., and Lewis, P. (1988). Oxidative ageing. *Natural Rubber Science and Technology*: 21-75.

Blanco, F. E. (2009). Paternidad del Caucho Natural en Colombia. *Universidad Nacional*.

Booten, K., Hashim, B., and Singh, M. (2011). *Patente n° EP2132231 B1*. Francia.

Bruinsma, J. (2003). *World Agriculture: Towards 2015/2030 - An FAO Perspective*. USA.

Burger, K., and Smit, H. (1997). *Rubber Market: Review, analysis, policies and outlook*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltda.

BusinessCol.com. (2008). *Caucho guatemalteco destaca en mercado internacional*. Recuperado de <http://www.businesscol.com/noticias/fullnews.php?id=4584>

Cecil, J., and Mitchell, P. (2005). *Processing of Natural Rubber*. FAO.

Chaikumpollert, O., Loykulnant, S., Chaveewan, K., and Suchiva, K. (2000). Developmetn of Preservative for Natural Rubber Latex. Proceedings of IV International Conference of Materials Science and Techonology, (pág. 15). Bangkok, Tailandia.

Chaiprapat, S., and Sdoobee, S. (2007). Effects of wastewater recycling from natural rubber smoked sheet production on economic crops in southern Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*: 577-590.

Chandrasekaran, C. (2010). *Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems*. Oxford: Elsevier.

Clavijo, J. (2004). *El caucho natural, alternativa viable para tierras marginales cafeteras y cultivo promisorio para la sustitución manual de cultivos ilícitos*. Trabajo de grado de especialización, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias y administración, Manizales.

De, S. K., and White, J. R. (2001). *Rubber Technologist's Handbook* Volume 1. UK: Rapra Technology Limited.

Elastotec Indústria e Comércio de Artefatos de Borracha Ltda. (s.f.). *Elastotec Artefatos de Borracha*. Recuperado de

http://www.elastotec.com.br/publicacoes_tecnicas/ELASTOTEC_Borracha_Natural.pdf

Espinal, C., Martinez, H. J., Salazar, M., and Barrios, C. A. (2005). *La cadena del Caucho en Colombia. Una mirada Global de su Estructura y Dinámica*. Recuperado de Agrocadenas: www.agrocadenas.gov.co/caucho/documentos/caracterizacion-caucho.pdf.

Ferreira, V., Rêgo, I., Pastore, F., Mandai, M., Mendes, L., Santos, K., (2005). The use of smoke acid as an alternative coagulating agent for natural rubber sheets' production. *Bioresource Technology*: 605-609.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1990). *Commodity Review and Outlook 1989-1990*. Roma, Italia: FAO Economic and Social Development Series.

FPT Securities Joint Stock Company. (2013). *Natural rubber industry report 2013*. Vietnam.

Gong, Y., Liu, G., Peng, W., Su, X., and Chen, J. (2013). Immobilization of the proteins in the natural rubber with dialdehyde sodium alginate. *Carbohydrate Polymers*: 1360-1365.

González, R. A., Álvarez, E., and Abreu, K. (2008). Influencia de los Adtivos sobre las Propiedades Mecánicas de los Elastómeros. *Tecnología Química*: 26-34.

Hirata, Y., Kondo, H., and Ozawa, Y. (2014). Natural Rubber (NR) for the Tyre Industry. En S. Kohjiya, and Y. Ikeda, *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*: 325-342. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

How Products are Made. (s.f.). Recuperado de <http://www.madehow.com/Volume-3/Latex.html>

Intapun, J. (2009). *Study of the Effects of biological Maturation fo Coagula of Hevea Brasiliensis Latex on Dry Rubber Properties*. Tesis doctoral, Montpellier SupAgro, Doctoral School "Process Sciences - Food Sciences".

International Rubber Study Group. (2014). *International Rubber Study Group*. Recuperado el 09 de 09 de 2014, de <http://www.rubberstudy.com/news-article.aspx?id=5071andb=default.aspx>

Kamoun, M., Nassour, A., and Michael, N. (2009). The Effect of Novel Binary Accelerator System on Properties of

Vulcanized Natural Rubber. *Advanced in Materials Science and Engineering*: 1-7.

Kohjiya, S., Tosaka, M., Furutani, M., Ikeda, Y., Toki, S., and Hsiao, B. (2007). Role of stearic acid strain induced crystallization of crosslinked natural rubber synthetic cis-1,4 - polyisoprene. *Polymer*, 48(13): 3801-3808.

Kongkaew, C., Dokkhan, C., Pattanawanidchai, S., Chaikumpollert, O., and Loykulnant, S. (2012). Factors affecting creaming efficiency of bio-based polymers, vulcanization and mechanical properties of creamed skim rubber. *Biomass and Bionenergy*: 233-241.

Kongkaew, C., Loykulnant, S., and Chaikumpollert, O. (2012). *Patente n° 254424*. India.

Le-Gac, P.-Y., Arhant, M., Davies, P., and Muhr, A. (2014). Fatigue behaviour of natural rubber in marine environment: comparison between air and sea water. *Materials and Design*, pág. Accepted Manuscript.

Luo, Y., Yang, C., Wang, Y., He, C., Zhong, J., Liao, S., (2012). Effect of neodymium stearate on cure and mechanical properties of epoxidized. *Journal of Rare Earths*, 30(7).

Marimim, Darmawan, M., Machfud, Putra, M., and Wiguna, B. (2014). Value chain analysis for green productivity improvement in the natural rubber supply chain: a case study. *Journal of Cleaner Production*: 1-11.

Maznah, K., Baharin, A., Hanafi, I., Azhar, M., and Hakim, M. (2008). Effect of soaking in potassium hydroxide solution on the curing, tensile properties and extractable protein content of natural rubber latex films. *Polymer Testing*: 1013-1016.

Maznah, K., Baharin, A., Hanafi, I., Azhar, M., and Hakim, M. (2008). Effect on acid treatment on extractable protein content, crosslink density and tensile properties of natural rubber latex films. *Polymer Testing*: 823-826.

Mela, E., Arkeman, Y., Noor, E., and Azam, N. (2013). Potential Products of Coconut Shell Wood Vinegar. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical*: 1480-1493.

Menon, A., Aigbodion, A., Pillai, C., Mathew, N., and Bhagawan, S. (2002). Processability characteristics and

physico-mechanical properties of natural rubber modified with cashewnut shell liquid and cashewnut shell liquid-formaldehyde resin. *European Polymer Journal*: 163-168.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1992). *Agronet*. Recuperado de http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/El%20cultivo%20del%20caucho.pdf

Murakami, S., Senoo, K., Toki, S., and Kohjiya, S. (2002). Structural development of natural rubber during uniaxial stretching by in situ wide angle X-ray diffraction using a synchrotron radiation. *Polymer*, 43(7): 2117-2120.

Na, W., Long, M., Yuxian, W., Xiangzhou, W., and Quinghong, F. (2013). Enhanced Flame Retardancy of Natural Rubber Composite with Addition of Microencapsulated Ammonium Polyphosphate and MCM-41 Fillers. *Fire Safety Journal*: 281-288.

Naranjo, L. (2013). *Estudios sobre el Mercado del Caucho Natural para la Fabricación de Materia Prima y Productos en la Planta de Santa Clara en Tarazá Antioquia*. Trabajo de Grado, Universidad EAFIT, Medellín.

OESS . STN C.N and su Industria. (2008). *Comportamiento del Caucho Natural en Colombia y el Mundo 2002-2008*.

Prasertsit, K., Rattanawan, N., and Ratanapisit, J. (2011). Effects of wood vinegar as an additive for natural rubber products. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*: 425-430.

Ranta, P., and Ownby, D. (2004). A Review of Natural-Rubber Latex Allergy in Health Care Workers. *Healthcare Epidemiology*: 252-256.

Sasiradhan, K., Joseph, R., Rajammal, G., Viswanatha, P., and Gopalakrishnan, K. (2001). Studies on the dipping characteristics of RVNRL and NR latex compounds. *Journal of Applied Polymer Science*: 3141-3148.

Servicio Nacional de Aprendizaje. (2006). *Estudio de Caracterización Ocupacional del Sector del Caucho Natural en Colombia*. Observatorio, SENA, Mesa Sectorial del Caucho, Bogotá.

Shah, D., and Chowdhury, M. (2011). Rubber Allergy. *Clinics in Dermatology*: 278-286.

Silva, J., Scaloppi Jr, E., Moreno, R., Souza, G., Gonçalves, P., and Scarpate, J. (2012). Producción y propiedades químicas

del caucho en clones de Hevea según los estados fenológicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(8): 1066-1076.

Singh, M., Esquena, J., Solans, C., Booten, K., and Tadros, T. (2014). Influence of hydrophobically modified inulin (INUTEC NRA) on the stability of vulcanized natural rubber latex. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*: 90-100.

Smit, H., and Burger, K. (1992). The Outlook for Natural Rubber Production and Consumption. En M. Sethuraj, and N. Mathew, *Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology* (págs. 26-50). Amsterdam: Elsevier.

Souza, A. (2013). *Estudo Experimental do Comportamento Viscoelástico Não Linear de Buchas de Borracha Sob Solicitações Estáticas e Dinâmicas*. Brasil: Universidad federal de Itajubá.

Sridee, J. (2006). *Rheological Properties of Natural Rubber Latex*. Tailandia: Suranaree University of Technology.

Sussman, G., Beezhold, D., and Kurup, V. (2002). Allergens and natural rubber proteins. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*: 33-39.

Tomazic-Jezic, V., and Lucas, A. (2002). Protein and allergen assays for natural rubber latex products. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*: 40-46.

Travas-Sejdic, J., Jelencic, J., Bravar, M., and Fröbe, Z. (1996). Characterization of the Natural Rubber Vulcanizates

Obtained by Different Accelerators. *European Polymer Journal*: 1395-1401.

Tuampoemsab, S. (2008). *Control of the degradation of natural rubber: analysis and application of naturally occurring anti- and pro-oxidants in natural rubber*. Tesis de Doctorado, Mahidol University, Tailandia.

Tully, J. (2011). *The Devil's Milk: A Social history of Rubber*. New York: Monthly Review Press.

Vaysse, L., Sainte-Beuve, J., and Bonflis, F. (2003). Still current challenge for rubber technology: find new criteria for the prediction of manufacturing behavior of natural rubber. *IRRDB Annual Symposium "Challenge for natural rubber in globalisation"*. Chiang Mai.

Whelan, A., and Lee, K. (Edits.). (1979). *Developments in Rubber Technology* (Vol. 1). Barking, Essex, Inglaterra: Applied Science Publishers Ltda.

Wisniewski, A., and Rohnelt, R. (1947). *A Prática da Concentração do Látex*. Brasil: Instituto Agronómico do Norte.

Yang, C., Luo, Y., Chen, B., Xu, K., Zhong, J., Peng, Z., y otros. (2013). Effect of types of antioxidants on crosslink density and tensile properties of epoxidized natural rubber. *Advanced Materials Research*: 824-827.