

Usos del aceite de palma y sus derivados oleoquímicos en la industria de los pavimentos*

Uses of Palm Oil and their Oleochemicals in Pavement Industry

CITACIÓN: Sanabria, L. (2016). Usos del aceite de palma y sus derivados oleoquímicos en la industria de los pavimentos. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 163-172.

PALABRAS CLAVE: pavimentos, aceites vegetales, oleoquímica.

KEYWORDS: Pavements, vegetable oils, oleochemical.

*Artículo original recibido en español.



LUIS ENRIQUE SANABRIA GRAJALES
Director Ejecutivo, Corasfaltos
(Corporación para la Investigación
y Desarrollo en Asfaltos en el Sector
Transporte e Industrial)
Executive Director, Corasfaltos
(Research and Development
Corporation on Asphalt in the
Transportation and Industrial Sector)
info@corasfaltos.com

Resumen

En este artículo se presentan diferentes opciones de procesamiento de aceites vegetales, incluyendo los avances más recientes en la industria oleoquímica a nivel mundial, como herramienta útil en el mejoramiento de la productividad de la cadena agroindustrial de la palma de aceite. Se destacan los desarrollos de procesos químicos para el aprovechamiento de aceites vegetales en la producción de materiales poliméricos. Adicionalmente, se han desarrollado rutas de transformación de aceites vegetales y ácidos grasos, procesos de polimerización y de producción de diferentes aditivos. Se presentarán también las propiedades relevantes de los materiales más promisorios, destacando su idoneidad para sustituir, al menos parcialmente, los materiales basados en petróleo.

Al mismo tiempo, se presentarán diferentes aplicaciones a partir de subproductos de la industria de la palma de aceite en los pavimentos flexibles, cuyo aprovechamiento es primordial para aumentar la rentabilidad del sector palmero. En Colombia, Corasfaltos ha adelantado desarrollos de productos formulados con aceite de palma o sus derivados, en la producción de aditivos de tipo surfactante para la producción de mezclas asfálticas tibias para pavimentos flexibles, emulgentes para producción de emulsiones asfálticas, mejoradores de adherencia para mezclas asfálticas y un aditivo multifuncional.

Abstract

This paper presents different processing paths for vegetable oils, including the most recent progress in the oleochemical industry on a global level, as a useful tool to improve productivity in the oil palm agribusiness chain. The developments in chemical processes for the usage of vegetable oils in the production of polymeric materials stand. Additionally, paths to have been developed to transform vegetable oils and fatty acids polymerization processes and her producing different additives. The relevant properties of the most promising materials will also be presented, stressing their suitability to substitute petroleum-based materials, at least partially.

At the same time, different applications from products of the industry of oil palm in flexible pavements are presented, whose use is essential to increase the profitability of the oil palm sector. In Colombia, Corasfaltos has made progress in the development of products made with palm oil or its derivatives for the production of additives like a surfactant for the production of warm asphalt mixes for flexible pavements, emulsifiers for the production of asphalt emulsions, adhesion to asphalt mixes and a multifunctional additive.

□

El uso industrial de productos agrícolas es un tema que ha generado un interés significativo en la sociedad, y cada día es mayor la necesidad de girar hacia una economía basada en recursos renovables. En el caso de los aceites vegetales, además de sus usos en la cadena alimentaria, se han desarrollado procesos industriales para transformarlos en plásticos, fármacos, tintas, adhesivos, recubrimientos, aditivos, entre otros. Por su naturaleza biológica, los productos creados a partir de aceites vegetales son, a menudo, biodegradables.

El desarrollo de la cadena productiva de la palma de aceite en Colombia ha logrado un desempeño sobresaliente en múltiples aspectos: área sembrada, tasa de crecimiento de los cultivos en los últimos años, generación de empleo, nivel de ingresos y bienestar superior de las familias que trabajan con las empresas del sector, desarrollo de biocombustibles y nuevos modelos de negocio, entre otros.¹ Sin embargo,

con miras a aumentar la productividad del sector y garantizar su sostenibilidad, es necesario diversificar la explotación industrial de la palma de aceite hacia mercados diferentes a la industria del biodiésel.

A continuación se presentará un resumen de los principales productos derivados del aceite de palma a nivel mundial, así como las aplicaciones propuestas para la agrocadena de la palma de aceite en la producción de pavimentos asfálticos.

Principales productos derivados del aceite de palma

Los aceites y las grasas son triglicéridos con diferente composición de cadenas alquílicas, dependiendo de su origen. En el procesamiento industrial, ellos se transforman en ácidos grasos, ésteres metílicos de ácidos

grasos, glicerol y alcoholes grasos.² En el caso de la producción de otros materiales especializados, se requiere la implementación de procesos químicos adicionales.

Biodiésel

El biodiésel se produce normalmente por la transesterificación de aceite vegetal, de algas o grasa animal. Los alcoholes usados más frecuentemente son metanol o etanol para producir metil ésteres o etil ésteres, que se denominan ésteres metílicos de ácido graso (FAME, por sus siglas en inglés) o ésteres etílicos de ácido graso (FAEE, por sus siglas en inglés). Existen cuatro métodos diferentes para reducir la viscosidad del aceite vegetal o de algas:³

- Mezclado con diésel del petróleo
- Pirólisis o craqueo térmico
- Emulsificación
- Transesterificación

La transesterificación con alcohol, en presencia de un catalizador ácido o básico, es la forma más común de producir biodiésel. Los catalizadores usados se clasifican en homogéneos y heterogéneos. Los homogéneos generan formación de jabón y agua, los cuales consumen más catalizador, requieren agua adicional para los equipos de lavado y separación y reducen el rendimiento de biodiésel.⁴ El catalizador heterogéneo requiere menos operaciones unitarias, con pasos sencillos de separación de productos y purificación, sin necesidad de neutralización. Esta se considera una tecnología verde por los siguientes atributos: el catalizador puede reutilizarse, no hay formación de agua durante el proceso y la separación del biodiésel y del glicerol es más fácil que en el proceso de catálisis homogénea.⁵

Polímeros

Los oleoquímicos como materiales poliméricos representan un mercado relativamente pequeño, pero bien establecido. Tienen aplicaciones en polímeros. En este campo, se ha presentado una tendencia clara hacia el uso de “solventes verdes”, como los solventes de tipo ester, producidos a partir de ácidos grasos y/o alcoholes grasos de fuentes renovables.³

Por otra parte, el aprovechamiento del glicerol, subproducto del proceso de producción del biodiésel, en la producción de polímeros, ha sido estudiado en los últimos años. Es el caso del Grupo de investigación en Polímeros de la Universidad Industrial de Santander, UIS, que ha venido desarrollando avances en cuanto al uso del glicerol para la obtención de materiales poliméricos de valor agregado, como poliglicerol, compuesto polar con un gran número de grupos hidroxilo, que lo hacen altamente reactivo para reacciones de modificación como la esterificación y eterificación. Esto lleva a cambios en las propiedades de los polímeros producidos: peso molecular, la polaridad, estructura y propiedades térmicas, obteniendo hidrogel y oilgeles.⁴

El poliglicerol, obtenido directamente de la eterificación catalítica de glicerol, es un polímero de base biológica, material base para diferentes aplicaciones, como hidrogeles^{5, 6, 7} emulgentes^{8, 9}, soportes de catalizadores¹⁰, y las aplicaciones biomédicas.^{11, 12} Este compuesto es un promisorio candidato como monómero en la producción sostenible de polímeros y/o asfaltos biodegradables ya que ofrece diversas rutas de reacción.¹³

Otros productos

Se han desarrollado otros productos como los surfactantes, los emolientes y pesticidas. Los surfactantes por sus propiedades fundamentales tienen muchas aplicaciones como: jabones, detergentes, agentes de espumado, herbicidas, agentes antiespumantes, agentes de humectación, emulsificantes, cosméticos, suavizantes de telas y otras aplicaciones en donde se junten dos compuestos de diferente naturaleza. Los surfactantes se crean generalmente de una cabeza con un grupo hidrofílico y una cola hidrofóbica.

Los emolientes son la presentación de la fase oleíca en una emulsión cosmética; se usan para el cuidado del cabello y la piel, en propiedades como el suavizado, esparcimiento y aspecto sensorial. Existen diferentes emolientes disponibles en el mercado como siliconas, parafinas y productos de base oleoquímica; estos últimos incluyen glicéridos, ésteres, alcoholes, éteres y carbonatos con estructuras hechas a medida, dependiendo del desempeño necesario.

Los pesticidas incluyen dos componentes principales, los ingredientes activos y los inertes. Los in-

gredientes activos representan los químicos en un producto y son los responsables del efecto deseado, capaces de prevenir, destruir, repeler o mitigar insectos, hongos, malas hierbas, roedores u otras plagas. Entretanto, los ingredientes inertes, también llamados suplementarios, son ingredientes inactivos que no tienen acción pesticida alguna. Se obtienen a partir de aceites de soya, algodón, linaza, maní, colza y girasol.

Aplicaciones del aceite de palma en la producción de mezclas asfálticas

La calidad de un pavimento es tan buena como lo sean la calidad de los materiales y del proceso constructivo; ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes. Los pavimentos flexibles están compuestos de dos materiales: asfalto y agregados (piedras, generalmente trituradas). El asfalto es un producto bituminoso semisólido a temperatura ambiente, preparado mediante un proceso de destilación del petróleo crudo, bitumen, que contiene un porcentaje muy bajo de productos volátiles a temperaturas elevadas (superiores a 130 °C); posee propiedades adhesivas y aglomerantes y es soluble en solventes aromáticos y en tricloroetileno.⁷ La designación del cemento asfáltico se da en Colombia por grados de penetración, en décimas de milímetro (0,1 mm); generalmente, se producen los grados de penetración 40-50, 60-70 y 80-100, de acuerdo con las características de la mezcla y del proyecto, siendo el grado 40-50 el más duro y el 80-100 el más blando. Los agregados utilizados deben ser suficientemente resistentes para soportar las cargas y los esfuerzos a los que se somete el pavimento, y ser compatibles físico-químicamente con el asfalto; dependiendo del tipo de mezcla asfáltica que requiera el pavimento, debe cumplir con una determinada “distribución y tamaño de partículas”, calidad que la aseguran las plantas de trituración y de fabricación de la mezcla asfáltica.

En resumen, el pavimento de concreto asfáltico es el de mejor calidad y se compone de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente. Después de que las partículas de agregado se revisten uniformemente con el asfalto, la mezcla caliente se lleva al lugar de la

construcción, en donde se dispone sobre la base de la carretera que ha sido previamente preparada. Antes de que la mezcla se enfríe, se procede a compactarla para lograr la densidad requerida. Actualmente se están desarrollando las mezclas tibias y semitibias, las cuales utilizan aditivos y/o procesos que permiten fabricarlas y compactarlas a menores temperaturas.

Existen pavimentos que se construyen con mezclas frías, utilizando asfaltos emulsificados o asfaltos diluidos que requieren muy poco o ningún calentamiento de materiales y con frecuencia, pueden ser producidos en el lugar de construcción sin necesidad de una planta central. Estos asfaltos emulsificados requieren el uso de emulgentes que, mediante la aplicación de un alto esfuerzo de corte, permitan la dispersión semi-estable de partículas microscópicas de asfalto en agua, en una concentración aproximada de 60 % de asfalto.

Bioaceite como ligante asfáltico

Los ligantes bituminosos provenientes de fuentes renovables se utilizan para hacer asfalto de color. Estos pueden reducir las temperaturas que absorben las superficies de las carreteras. La madurez tecnológica de este desarrollo es aún incipiente y los diferentes esfuerzos para producir bioasfalto a partir de aceite de palma aún no han alcanzado una etapa industrial. Caso contrario sucede con el *bioasphalt* desarrollado por Avello-Bioenergy en Estados Unidos, quienes comercializan el producto que se ha desarrollado a partir de un proceso de pirólisis rápida de residuos forestales y de madera.⁷

Aceite de palma para la producción de mezclas tibias

Hernando Lopera, Magister en Ingeniería de infraestructura y sistema de transporte de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, propuso la producción de mezclas asfálticas tibias a partir de la mezcla de aceite crudo de palma y asfalto base.⁸ Las mezclas asfálticas tibias permiten su producción a temperaturas menores que las mezclas en caliente, es decir, entre 100 y 135 °C, pero con el mismo desempeño. La reducción de estas temperaturas genera cinco beneficios principales: (a) la reducción de las emisiones

y olores de la planta, gas carbónico (30-40 %), óxido de nitrógeno (60-70 %), dióxido de azufre (35 %), compuestos orgánicos volátiles (50 %) y partículas de polvo (25-55 %), (b) la reducción del consumo energético en la producción de mezcla asfáltica hasta de 30 %, ocasionando disminución de costos de producción, (c) disminución de la velocidad de enfriamiento de las mezclas asfálticas, dado que la diferencia entre la mezcla y la temperatura ambiente es menor, permitiendo distancias de transporte más largas, y más tiempo para la compactación de las mezclas, lo que resulta beneficioso en condiciones climáticas extremas y puede ayudar a prolongar la temporada de pavimentación, (d) mejora de las condiciones de trabajo en el sitio de pavimentación debido a la reducción de emisiones contaminantes, (e) reducción de la viscosidad del asfalto y/o la trabajabilidad y la compactabilidad de las mezclas; la compactación mejorada o las densidades conseguidas *in situ* tienden a reducir la permeabilidad y el envejecimiento del asfalto.⁴

En la investigación de Lopera se modificó un asfalto de penetración 60/70 con aceite de palma de dos proveedores diferentes: uno suministrado por Dismaprim, cuya plantación está situada en el departamento de Cundinamarca, y la otra suministrada por Palmagro, localizada en Becerril, Cesar. La modificación del asfalto se hizo en porcentajes equivalentes a 0,3; 0,5; 0,7 y 1,0 %. Las pruebas de laboratorio mostraron que el crudo de palma puede llegar a ser un aditivo de gran potencial para la reducción de viscosidad. Las mezclas asfálticas producidas con este asfalto aditivado con aceite de palma fueron sometidas a ensayos de susceptibilidad a la humedad. Los resultados obtenidos muestran una relación de resistencia a la tensión de 84,4 % (la normativa INVIAS exige un mínimo de 80 %). En general, se pudo concluir que las mezclas asfálticas tibias producidas con aceite crudo de palma se pueden considerar otra opción de pavimentación, la cual brinda beneficios económicos, técnicos y ambientales, ya que reflejan resistencia mecánica y buen desempeño, al ser producidas a menor temperatura.⁸

Otros aditivos para asfaltos y mezclas asfálticas

La Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial, Corasfal-

tos, y el Grupo de Investigación en Polímeros, GIP, de la Universidad Industrial de Santander, con el apoyo del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, desarrollaron una investigación orientada a sintetizar, caracterizar y evaluar un aditivo polimérico a partir de glicerol, subproducto de la industria del biodiésel, con el fin de emplearlo como aditivo de mezclas asfálticas tibias.

Específicamente, el desarrollo de la investigación se enfocó al principio de funcionamiento de los aditivos químicos. El efecto de estos aditivos está basado en la modificación de la tensión superficial del asfalto y su interacción con los agregados, sin necesidad de modificar las propiedades reológicas y fisicoquímicas del mismo, lo que lo hace muy atractivo. Estos aditivos químicos están constituidos generalmente por emulsificantes. La naturaleza anfífilica de estas moléculas busca principalmente la micelización de los asfaltenos con el fin de reducir la atracción entre los mismos y mejorar la trabajabilidad del asfalto. Esto repercute en una mayor fluidez y facilidad de recubrimiento, incluso a bajas temperaturas.⁴ Su uso se ha extendido, sobretudo en Estados Unidos, pero también en países europeos como Francia y Noruega.

En esta investigación se concluyó que aditar un ligante asfáltico de penetración 60/70 a concentraciones tan bajas como 0,1 % en peso de poliglicerol modificado resultaba suficiente para producir cambios químicos, térmicos y estructurales significativos en el asfalto. Siendo estos de gran interés para la industria de pavimentos, ya que mejoran las propiedades reológicas y la resistencia a la deformación antes y después de envejecidos. Del análisis térmico se pudo concluir que el ligante aditivado tiene una capacidad calorífica tal que permite alcanzar la temperatura de mezclado con menor suministro de calor, lo que se traduce en un ahorro en costos energéticos. De acuerdo con la caracterización morfológica, fue posible observar la estructura coloidal del asfalto mediante SEM, encontrando estructuras de tipo abejas o fase catana asociadas a la fase más pesada del asfalto (asfaltenos) y se pudo evidenciar un aumento en la estabilidad de la estructura coloidal del asfalto aditivado, haciéndose más resistente al envejecimiento termo-oxidativo (Figura 1). En esta figura se observa para el asfalto original, mayor agregación de los asfaltenos con el envejecimiento a corto plazo y menor homogeneidad

del sistema coloidal (Figura 1.1 vs. 1.4); para el asfalto aditivado con poliglicerol se observa una excelente dispersión del sistema coloidal recién aditivado; así mismo, el polímero contribuye a disminuir el tamaño de los agregados de asfaltenos. Sin embargo, con el envejecimiento se presenta la reagrupación de los asfaltenos y una pérdida de homogeneidad de la estructura coloidal del asfalto (Figura 1.2 vs. 1.5); para el asfalto aditivado con poliglicerol modificado se observa que la estructura coloidal permanece estable a pesar del envejecimiento, con muy buena dispersión y sin aumento apreciable en el tamaño de los agregados de asfalto (Figura 1.3 vs. 1.6).

Por otra parte, Corasfaltos ha desarrollado otras familias de aditivos que contienen aceite de palma y/o fracciones de este en sus formulaciones, los cuales han sido patentados o protegidos por secreto industrial, según se indica a continuación.

Emulgentes: producidos a partir de aceite vegetal (puede ser de palma) y ácidos saturados y no saturados, útiles en la producción de emulsiones asfálticas para mezclas asfálticas en frío, bases estabilizadas, riegos de imprimación, reparcheos y vías de mediano-bajo tráfico vehicular. La Tabla 1 presenta datos comparativos de las propiedades de emulsiones asfálticas producidas con los tres emulgentes desarrollados por Corasfaltos y un emulgente comercial

empleado en Colombia.¹⁰ En Colombia se producen alrededor de 3.400 toneladas de emulsiones asfálticas al mes, lo que lleva a un consumo promedio de 23,8 toneladas de emulgentes al mes.

Aditivo multifuncional: cumple propósitos como agente mejorador de adherencia y cubrimiento asfalto-agregado, proporciona al asfalto un comportamiento multigrado (poca variación en su desempeño en un amplio rango de altas temperaturas), disminuye el daño por humedad en las mezclas asfálticas, aumenta la vida útil de los pavimentos flexibles y es útil en la producción de mezclas asfálticas tibias, permitiendo disminuir en 30 °C la temperatura de operación en planta, evitando, por ende, el envejecimiento prematuro del asfalto. La Figura 2 presenta fotografías de la construcción de un tramo de prueba construido con este aditivo en las cercanías de Bucaramanga, en las que se evidencia la disminución de los vapores orgánicos volátiles, tanto en planta como en obra.¹¹

Para estimar el potencial de consumo de este aditivo en Colombia, podría proyectarse de que las 30.000 toneladas de asfalto que se destinan al mes para producción de mezcla asfáltica en caliente, su producción evolucione hacia la tecnología de aditivación para mezclas tibias, lo cual requeriría un promedio de uso de aditivo de 1,5 % en peso del asfalto, que se traduciría en 450 toneladas/mes.

Figura 1. Micrografías SEM de las muestras de asfalto original, aditivadas con poliglicerol y aditivadas con poliglicerol modificado, antes y después del envejecimiento en RTFO.

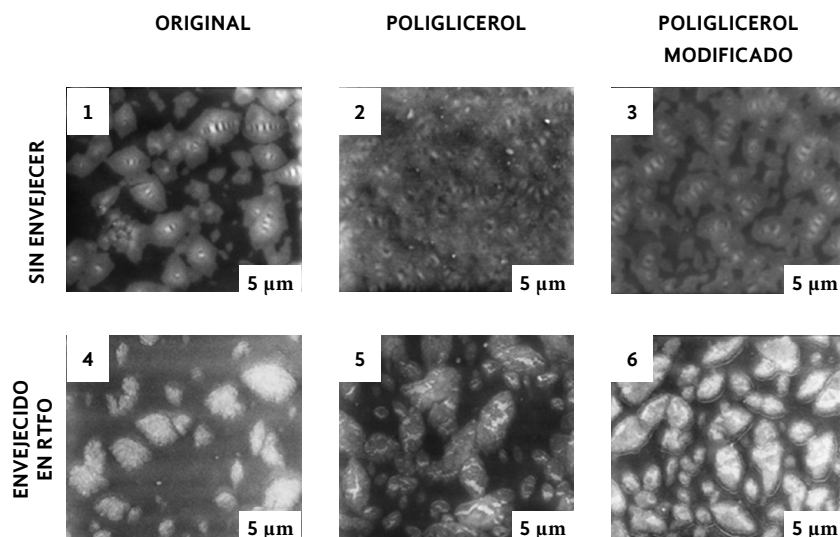


Tabla 1. Propiedades de emulsiones producidas con emulgentes de Corasfaltos y emulgente comercial.

Ensayo	Norma	Especificación		Emulgente comercial	Corasfalto E13-SM	Corasfalto E12-PM	Corasfalto S E13-S
		Mínimo	Máximo				
Contenido de agua en volumen (%)	INV E-762		40	39	38,6	38,2	39
Contenido de asfalto (%)		60		60,2	60,4	60,6	60
Contenido de disolventes (%)			3	0,8	1	1,2	1
Viscosidad saybolt-furol a 50 °C	INV E-763	20	100	28	30	33	27
ESTABILIDAD ALMACENAMIENTO	INV E-764		5	1,8	1,3	1,9	1,5
Sedimentación a los 7 días (%)							
TAMIZADO	INV E-765		0,1	0,09	0,085	0,09	0,085
Retenido tamiz No. 20							
Carga partícula	INV E-767		Positiva	Positiva	Positiva	Positivo	Positivo
Ph	INV E-768		6	2,2	2,1	2,3	2
ENSAYOS SOBRE RESIDUO DE DESTILACIÓN							
Penetración 100 g. 5 seg, 25 °C, 1mm	INV E-706	60	100	67	65	69	66
Ductilidad 25 °C, 5 cm/min	INV E-702	40		>100	>100	>100	>100
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713	97		98	98	99	98

Por ejemplo, las evaluaciones de mezclas asfálticas producidas con asfalto original y asfalto modificado con este aditivo en el ensayo TSR (Tensile Strength Ratio), que determina la resistencia a la humedad de las mezclas asfálticas, muestran un valor de $TSR_{ORIGINAL} = 61,3 \%$, mientras que la mezcla con asfalto modificado con 1,5 % en peso del aditivo de la invención reporta un $TSR_{MODIFICADO} = 93,8 \%$; así mismo, las reducciones en el consumo energético de una planta de producción de mezcla asfáltica son alrededor de 25 % y las emisiones de hidrocarburos totales,

compuestos orgánicos volátiles y material particulado disminuyen en más de 80, 40 y 50 %, respectivamente.

Actualmente las empresas del sector de la producción de mezclas asfálticas en Colombia consumen diferentes aditivos importados en su totalidad, ya sea directamente o mediante firmas distribuidoras, siendo este un potencial nicho industrial para la palma de aceite. El mercado colombiano de aditivos ha venido creciendo cada año, pasando de 2.937 toneladas en 2010 a 4.869 t en 2014.



Figura 2. Construcción de tramo de prueba con aditivo multifuncional de Corasfaltos.

Sustitución de agregados en la mezcla asfáltica

Varios investigadores han estudiado el comportamiento de mezclas asfálticas al sustituir parcialmente el material pétreo por la cáscara de la almendra del fruto de la palma de aceite (OPS, por su sigla en inglés), conocido como cuesco. Entre esos estudios se encuentra el presentado por Putri *et al.*, (2015), quienes estudiaron su aplicación en mezclas asfálticas porosas y en carpetas de rodadura, concluyendo que no era recomendable su aplicación en mezclas porosas pero sí en carpetas de rodadura. La Figura 3 muestra una imagen de la apariencia de las cáscaras empleadas en la investigación.

La Figura 4 muestra la deformación permanente sufrida por mezclas asfálticas para carpeta de rodadura según el contenido de cáscara de la almendra

del fruto de palma de aceite. De acuerdo con los resultados de esta investigación, se recomendó que podría usarse hasta 30 % de este material como remplazo del agregado pétreo en este tipo de estructuras.

Por otra parte, se ha investigado el uso de las cenizas que quedan del proceso de combustión de la biomasa en las calderas de proceso de extracción de aceite de palma (OPFA, por su sigla en inglés) como modificador del ligante asfáltico. Es el caso de la investigación reportada por Rusbintardjo¹⁴ para la producción de mezclas de asfalto fundido de tipo SMA (*Stone mastic asphalt*), concluyendo que este es un excelente material alternativo para el remplazo de las fibras en mezclas asfálticas de tipo SMA. La modificación de asfalto con OPFA para producción de mezclas asfálticas SMA mejora la estabilidad de las mezclas, su módulo resiliente y resistencia al ahuellamiento, a la vez que proporciona mayor adherencia al agregado pétreo.¹³

Figura 3. Cáscara de la almendra del fruto de la palma de aceite o cuesco, empleado en la sustitución de agregados pétreos en mezclas asfálticas.¹²

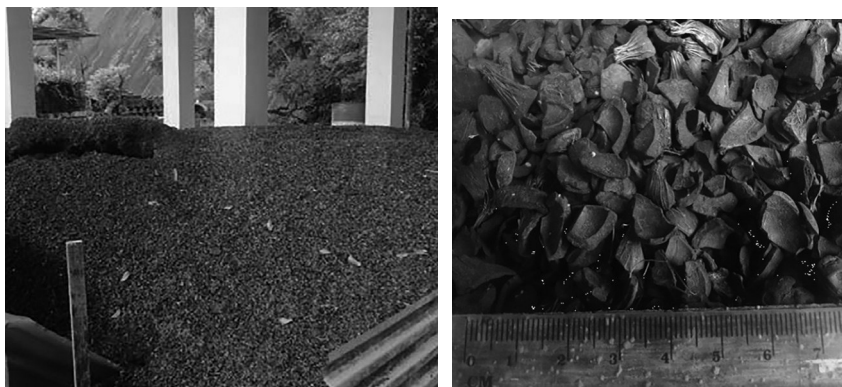
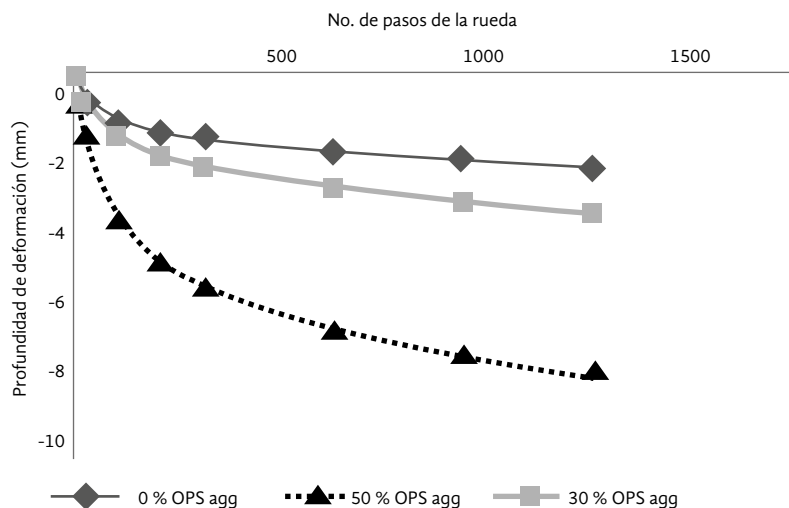


Figura 4. Deformación permanente en mezclas asfálticas, mediante ensayo de deformación en pista.¹²



La Figura 5 muestra una fotografía de la apariencia del OPFA empleado en la modificación de asfalto, y la Tabla 2 presenta la composición química de la OPFA. En el estudio se emplearon dos granulometrías del OPFA; la fracción con tamaño máximo de 75 μm se denominó OPFA fino y la fracción con tamaño máximo de 300 μm se denominó OPFA grueso. La Tabla 3 presenta los resultados del módulo resiliente medido a diferentes frecuencias y temperaturas para mezclas de tipo SMA preparadas con OPFA fino y OPFA grueso.

Conclusiones

La industria de la palma de aceite en Colombia tiene un amplio espectro de posibilidades para diversificar las aplicaciones de sus productos y residuos industriales a fin de aumentar la rentabilidad de esta agrocadena.

Hasta el momento se han planteado diferentes alternativas tendientes al aumento de la sostenibili-

dad del sector de la palma de aceite y la producción de bio-productos.

La industria de la palma de aceite colombiana tiene una gran oportunidad para incursionar en el sector de los pavimentos flexibles, tanto con los productos básicos que ya produce, como con el desarrollo de nuevos productos, a fin de aprovechar el auge de las inversiones en infraestructura del país.

Actualmente en Colombia se está adelantando la construcción de una planta de producción de emulgentes y aditivos multifuncionales para la industria de los pavimentos, la cual requerirá aceite de palma y de palmiste o sus derivados oleoquímicos para su producción. Además, Fedepalma, Pavimentar S.A. y Corasfaltos adelantan un proyecto de pavimentación de un tramo de 100 metros de largo con mezcla tibia aditivada con aceite de palma crudo.



Figura 5. Cenizas del fruto de la palma de aceite (OPFA).¹³

Tabla 2. Composición química de las cenizas del fruto de la palma de aceite (OPFA).¹³

Composición química	%
SiO_2	43,60
Al_2O_3	11,40
Fe_2O_3	4,70
CaO	8,40
MgO	4,80
Na_2O	0,39
K_2O	3,50
SO_3	2,80
Pérdidas	18,00

Tabla 3. Módulos resilientes de mezclas asfálticas SMA producidas con fracciones de OPFA fina (F) y gruesa (C). Módulos resilientes promedio (Mpa) para diferentes temperaturas y fuerzas de carga pico de 1,0kN.

Ligante usado	Frecuencia de carga 0,5 Hz			Frecuencia de carga 1,0 Hz		
	5 °C	25 °C	40 °C	5 °C	25 °C	40 °C
Base bitumen	8.114	1.755	441	7.671	1.443	324
OPFA-MB 2,5 % F	6.842	2.897	460	6.198	2.674	397
OPFA-MB 5 % F	8.233	2.711	317	6.713	2.442	267
OPFA-MB 7,5 % F	6.884	2.939	340	6.422	2.426	267
OPFA-MB 10 % F	7.469	3.401	364	7.042	3.136	362
OPFA-MB 2,5 % C	5.913	2.711	198	5.841	2.281	156
OPFA-MB 5 % C	5.496	2.743	418	5.057	2.513	345
OPFA-MB 7,5 % C	6.738	2.840	439	6.519	2.734	415
OPFA-MB 10 % C	6.627	3.112	504	5.347	2.822	446
PG 76-22	4.901	2.027	440	3.815	1.860	386

Referencias

- ¹Encontrando la frontera tecnológica del sector palma, aceite, grasas vegetales y biocombustibles. Colombia 2013. [En línea] Abril de 2013. Disponible en: [https://www.ptp.com.co/documentos/6_Frontera_Tecnologica %202.pdf](https://www.ptp.com.co/documentos/6_Frontera_Tecnologica%202.pdf)
- ²Metzger, J.O. (2009). Fats and oils as renewable feedstock for chemistry. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, Vol. 111, pp. 865-876.
- ³Folić, M., Gani, R., Jiménez-González, C., Constable, D.J. (2008). Systematic selection of green solvents for organic reacting systems. *Chin. J. Chem. Eng.*, Vol. 16, pp. 376-383.
- ⁴Rojas, D.A. (2015). Síntesis de un aditivo a partir del glicerol para la modificación de un bitumen asfáltico útil en la producción de mezclas asfálticas tibias. Bucaramanga: tesis de maestría en Ing. Química, Universidad Industrial de Santander.
- ⁵Lode'n, M., Sc, M. (2003). The skin barrier and use of moisturizers in atopic dermatitis. *Clin. Dermatol.*, Vol. 21, pp. 145-157.
- ⁶Salimon, J., Salih, N., Yousif, E. (2012). *Industrial development and applications of plant oils and their biobased oleochemicals*. *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 5, pp.135-145.
- ⁷INVÍAS (2013). *Normas y especificaciones Invías 2013*. Bogotá, Colombia: s.n.
- ⁸Avello-Bioenergy. *Bioasphalt binder*. [En línea]. Disponible en: http://www.avellobioenergy.com/en/products/bioasphalt_binder/
- ⁹Lopera, H. (2011). Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis*). Medellín: Trabajo de grado (Máster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- ¹⁰Rojas-Avellaneda, D.A., Quintero, Luz S., Ramírez, G.E., Sanabria, L.E., Bariloche, AR (2015). Desarrollo de un aditivo para la producción de mezclas asfálticas tibias. XVIII Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto.
- ¹¹Sanabria, L.E., Chiman, L., Chiman, A. (2001). *Proceso para obtener un emulsificante asfáltico y el emulsificante producido por dicho proceso*. 1 213033.
- ¹²Chiman, L., Chiman, A., Sanabria, L.E. (2010) *Metodo para producir un aditivo multifuncional mejorador de adherencia, aditivo multifuncional producido por dicho método y asfalto modificado con dicho aditivo*. 55258.
- ¹³Putri, E.E., Adrian, A., Hariadi, M., Makinda, J. (2015). *Using Oil Palm Shell Aggregate (OPSagg) for Flexible Pavements*. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 20, pp. 2041-2054.
- ¹⁴Rusbintardjo, G. (2013). *The performance of stone mastic asphalt using oil palm fruit ash modified bitumen as binder*. Rio de Janeiro, Brazil: s.n., 13th WCTR.