

BOLETÍN TÉCNICO

PITRA

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA
DEL TRANSPORTE

Vol 3. N° 24. Enero 2012



Alternativas verdes a los modificantes de asfalto comerciales: Bolsas de banano – Parte 1 (Modificación del ligante)

*Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD.
Tec. Quim. Ernesto Villegas Villegas*

Introducción

Actualmente, existe un gran interés en minimizar el impacto o la huella que tienen las distintas técnicas ingenieriles en el medio ambiente. Tal es el caso en la ingeniería de pavimentos donde tecnologías como la de Mezclas Asfálticas Tibias (MAT) son cada vez más comunes (ver Boletín PITRA Vol 2. N° 13 y 15).

En el caso específico de ligantes asfálticos, a nivel mundial se ha realizado mucha investigación en el

mejoramiento del desempeño de mezclas asfálticas mediante modificación al ligante asfáltico con materiales de desecho, principalmente con polietileno. El caso más conocido es el uso de caucho de las llantas, de tal forma que se pueda incorporar al ligante asfáltico para modificar las propiedades elásticas del mismo.

No obstante, existe gran cantidad de materiales que normalmente se consideran de desecho y por razones varias se dificulta su reciclado. Un ejemplo muy interesante en el caso de Latinoamérica es el uso de los desechos de la uva una vez que estas han sido exprimidas para su jugo en la producción de vino (Calabi-Floody et al., 2012). Se ha identificado que el

Comité editorial del boletín



2012

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Bach. Lionela López Ulate
Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica, PITRA

Daniela Alpízar Gutiérrez
Diseñadora Gráfica. Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica,
PITRA

residuo, que consiste de los desechos sólidos como la cáscara, la pulpa, las semillas y el tallo de los racimos, es alto en antioxidantes y como tal, se ha evaluado la incorporación del mismo al ligante asfáltico en función de antioxidante. Según resultados de laboratorio se determinó que al incorporar un 10% del desecho (por peso) se observa un incremento en la viscosidad del ligante, pero más importante, se da una reducción de hasta el 19% en el envejecimiento a largo plazo, según se simula con la cámara de envejecimiento a presión (PAV por sus siglas en inglés).

En el caso de Costa Rica, actualmente se está evaluando la incorporación de la bolsa que se utiliza para cubrir los bananos durante su producción y a la fecha se han detectado varias ventajas, no solo desde el punto del desempeño del ligante asfáltico, sino también desde el punto de vista ecológico. (Figura 1)

Bolsas de Banano

Para asegurar la buena calidad en la producción de la fruta, el racimo de banano es envuelto en una bolsa de polietileno. Esta práctica asegura que la fruta alcance el crecimiento óptimo para cumplir con los



Figura 1. Bolsa de banano
Fuente: <http://www.svheartoftexas.com>

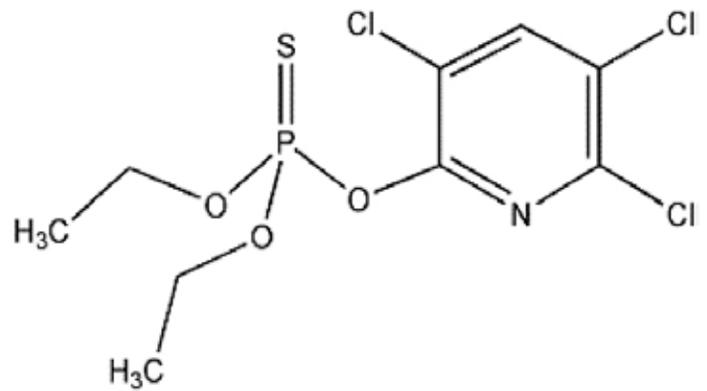


Figura 2. Molécula de clorpirifós

requisitos de venta y exportación, puesto que la bolsa permite el desarrollo de un microclima que asegura la protección de la fruta contra los factores que lo pueden dañar (radiación solar, pesticidas, plagas).

El problema radica en que la bolsa no es biodegradable y como tal no puede ser desechada directamente en el entorno. Adicionalmente, las bolsas están impregnadas con clorpirifós para proteger la fruta de los insectos. Esto es un grave inconveniente puesto que las bolsas no deberían ser recicladas para ningún uso que tenga algún tipo de aplicación relacionado con el consumo de los humanos. (Figura 2)

Se calcula que por cada hectárea de plantación se producen aproximadamente 1,5 toneladas de este material no biodegradable y puesto que para el 2010 la producción de banano en el país alcanzó las 43.031 hectáreas (CORBANA, 2012), es claro que la problemática es seria. Aunado a lo anterior, el material no es tratado previo a su desecho por lo que los clorpirifós pueden llegar a impactar la flora y la fauna de las áreas donde se desecha o reutiliza el material. Por ejemplo, un reciente estudio ha indicado que se detectaron concentraciones altas de clorpirifós en niños de la región de Talamanca donde se acumulan este tipo de bolsas (Barraza-Ruiz, 2009).

Incorporación de la Bolsa en el Asfalto

El material de bolsa de banano se incorporó al asfalto en una proporción de 3% por peso de mezcla (asfalto+modificante). El método de incorporación del material es de gran importancia pues debe garantizar la correcta distribución del material dentro del asfalto. Mediante prueba y error se determinó que la mejor forma de incorporar el material es mediante pedazos pequeños de bolsa (5 cm x 5 cm de lado) en pequeñas cantidades



Figura 3. Material de bolsa preparado para incorporación al asfalto



Figura 4. Resultado de inadecuada incorporación

a la vez, puesto que a altas temperaturas, si se llegaran a incorporar grandes cantidades simultáneamente se forman aglomerados de polietileno que tienden a formar una cáscara en la parte externa dificultando la disolución del grumo. (Figura 3 y Figura 4)

Adicionalmente, como el polietileno es un material menos denso que el asfalto, abonado a que el grosor de la bolsa es mínimo (densidad del polietileno a 25 °C es de 0,92 g/cm³, densidad del asfalto 1,03 g/cm³), el aspa del equipo de corte debe colocarse muy cercana a la superficie del ligante para que el vórtice que genera el mismo sea capaz de introducir el plástico al asfalto puesto que el polietileno tenderá a flotar sobre la superficie del asfalto.

La temperatura de mezclado escogida fue de 160 °C por si hubiese trazas de clorpirifós en el polietileno luego de

tratar las bolsas (tres ciclos de lavado con tetrahidrofurano, seguido por tres ciclos de lavado con acetona), pues se conoce que dicha molécula se descompone por encima de los 150 °C y como se describirá posteriormente, dicha temperatura está muy por debajo de la temperatura de descomposición del plástico.

Caracterización de los Materiales

Tanto la bolsa de polietileno como el asfalto modificado fueron evaluados en el laboratorio. El asfalto se caracterizó mediante la metodología Superpave, con base en el Grado de Desempeño (PG) del material antes y después de la modificación. En el caso del polietileno, el material se analizó basándose en la curva calorimétrica, transición térmica, distribución del asfalto después de la modificación, calidad del

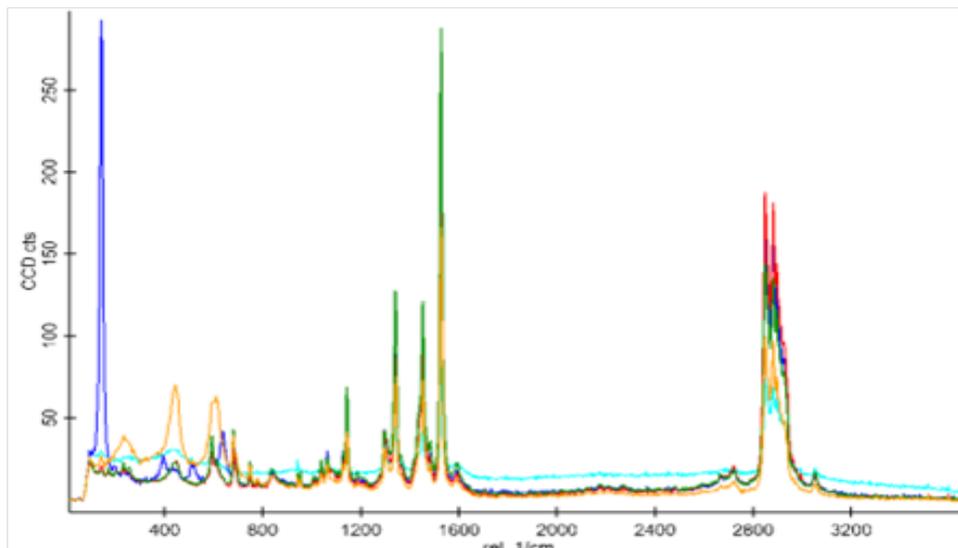


Figura 5. Espectro Raman

material y la posibilidad de reciclar el material para obtener otros productos.

A continuación se resumen algunos de los resultados principales.

Caracterización de la Bolsas de Banano

El espectro Raman (caracterización de enlaces químicos y simetría de moléculas) promedio es el típico para cadenas de tipo $[-CH_2-CH_2-]_n$, el cual es el constituyente de un polímero simple. (Figura 5). Dado que el material a incorporar es polietileno, es necesario identificar cuál es la temperatura de fusión del mismo con el fin de garantizar la correcta incorporación de la bolsa de banano dentro del asfalto.

Se determinó que dicha temperatura se da a los 121,6 °C, dato que ayuda a caracterizar el material pues según las tablas de constantes, el punto de fusión del polietileno de alta densidad está entre los 120 °C y 136 °C. Dicho análisis se realizó con base en el equipo para Análisis Calorimétrico mediante Escaneo Diferencial (DSC) (Figura 6).

Adicionalmente, es de gran importancia determinar a qué temperatura se degrada el polietileno con el fin de asegurar la integridad del mismo al ser combinado con el asfalto y someter dicho material compuesto a temperaturas de mezclado en laboratorio o en planta. (Figura 7)

Con base en el TGA se pudo determinar que la temperatura de degradación de la bolsa de banano

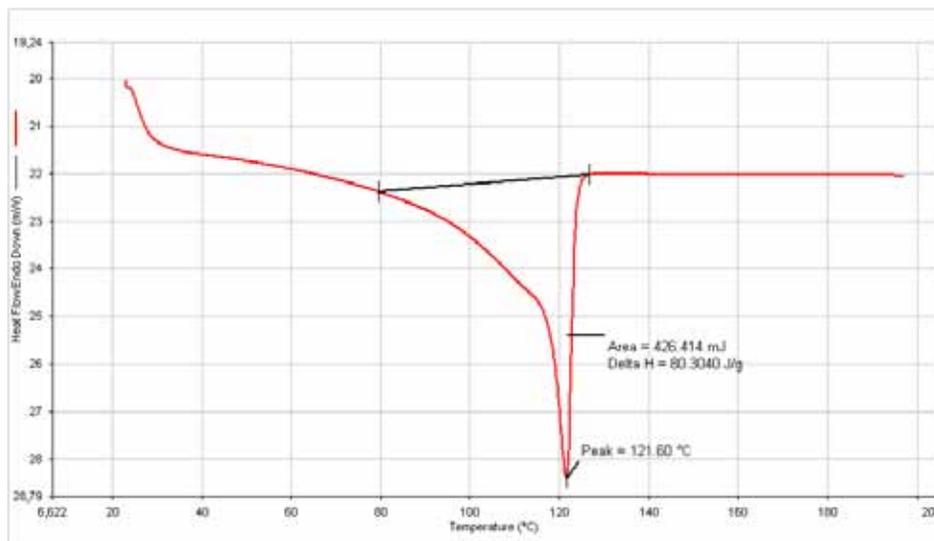


Figura 6. Temperatura de fusión (DSC)

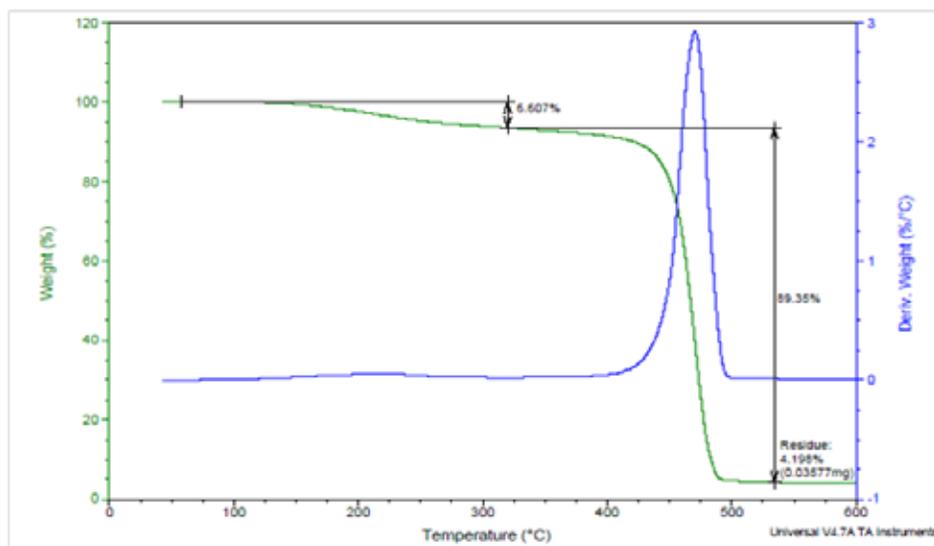


Figura 7. Análisis Termogravométrico (TGA)

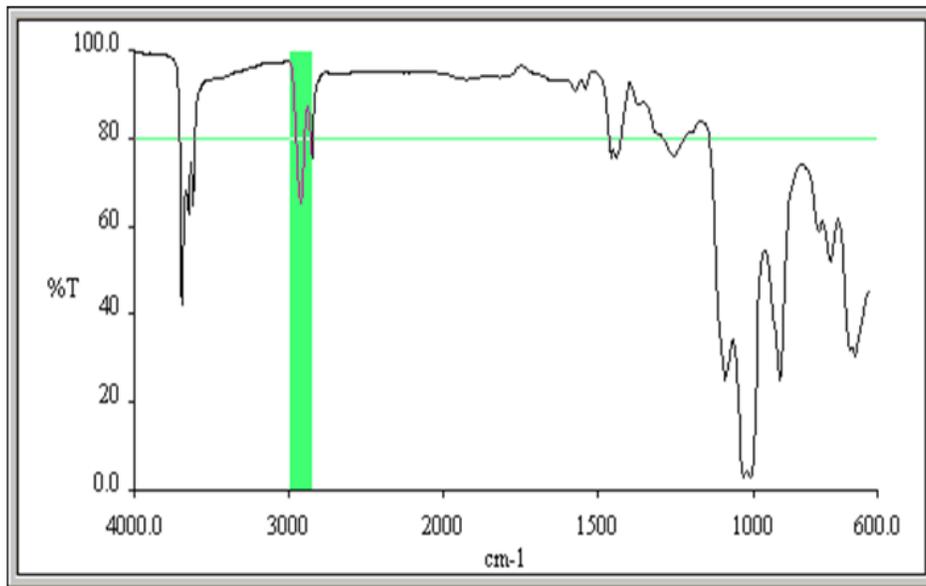


Figura 8. Espectro de gases producto de descomposición de de bolsas de banano (FTIR)

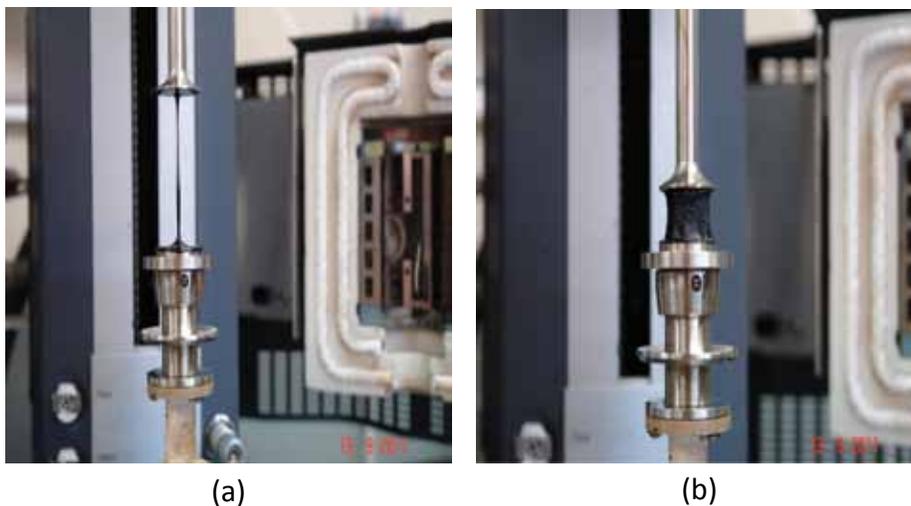


Figura 9. (a) Asfalto sin modificar y (b) asfalto modificado con bolsa de banano

se da a aproximadamente los 450 °C, lo cual permite su uso como modificante de asfalto. No obstante, se observó que 6,6% del material se empezó a degradar desde los 150 °C. Es muy probable que dicho porcentaje se deba a la degradación del insecticida que se incorpora a dichas bolsas de banano (clorpirifós). (Figura 7)

Sin embargo, mediante el uso del Espectrómetro Infrarojo para Gases (FTIR), que es capaz de analizar los vapores que salen del TGA, se identificaron grupos clorados y cloro-sulfonados, lo que confirma que el material que se degrada corresponde a sustancias que son usadas en insecticidas (clorpirifós).

Caracterización Asfalto Modificado y sin Modificar

Los resultados de cromatografía latroscan (Análisis SARA) indicaron que el asfalto de RECOPE (asfalto LPI-03, sin modificar, muestreado en Febrero 2007) está compuesto por las fracciones SARA como sigue: Saturados 5,4%, Aromáticos 35,3%, Resinas 41,4% y Asfaltenos 17,9%.

Esto es importante puesto que las distintas fracciones están asociadas a los distintos comportamientos del asfalto: los Asfaltenos actúan como espesante, la

Tabla 1. Viscosidad de Asfalto Modificado a 60 °C (medido con DSR)

Asfalto	Viscosidad (Poises)
LIP-03 (AC-30)	2854
SBR(A)	4312
Bolsa Banano	5039
SBR(B)	5698
SBR(C)	5542
SBS(A)	8054
SBS(B)	6069

fluidez se obtiene de los Saturados y los Aromáticos, las Resinas proveen la ductilidad al asfalto y los Saturados y los Aromáticos, en conjunto con los Asfaltenos, facilitan el flujo del asfalto (Corbett, 1970).

A 60 °C el asfalto modificado con plástico de bolsa de banano tiene una viscosidad similar a la que presenta el mismo asfalto modificado con polímeros tipo SBS o SBR de distintas casas comerciales. (Figura 9 y Tabla 1)

Adicionalmente, se caracterizó el desempeño del asfalto sin modificar y modificado, bajo distintas condiciones de envejecimiento, según la metodología Superpave. Se observa que en general la modificación con el polietileno de la bolsa de banano incrementa el PG en un grado, efecto similar al que generó la modificación con SBR de casas comerciales. (Tabla 2)

Con el fin de caracterizar la resistencia a la deformación permanente del asfalto modificado, también se realizó el ensayo de creep repetitivo para cuantificar la resistencia a la deformación permanente del asfalto modificado. Durante el ensayo se aplicaron 250 ciclos de carga a 70 °C y se identificó que el material de bolsa de banano incrementa la resistencia a la deformación considerablemente cuando se compara con el asfalto sin modificar e inclusive se comporta mejor que el asfalto modificado con uno de los polímeros SBR de casas comerciales. (Figura 10)

En cuanto a cambios en la resistencia a la fatiga, análisis de energía disipada con el DSR indican que después de muchos ciclos de carga, el comportamiento del asfalto sin modificar y el del asfalto modificado con material de bolsa de banano tienden a comportarse de manera muy similar.

Tabla 2. Análisis Reológico de Asfalto Modificado (Superpave)

G*/senδ ≥ 1 kPa, Asfalto Original			
Temperatura de Ensayo	64 °C	70 °C	76 °C
LPI-03 (AC-30)	1.78	0.89	0.47
SBR(A)	2.79	1.42	0.75
Bolsa de Banano	3.11	1.53	0.80
SBR(B)	3.72	1.97	1.06
SBR(C)	3.00	1.52	0.81
SBS(A)	5.39	2.72	1.44
SBS(B)	3.60	2.04	1.20
G*/senδ ≥ 2,2 kPa, Asfalto Envejecido RTFO			
Temperatura de Ensayo	64 °C	70 °C	76 °C
AC-30	5.97	2.94	1.47
SBR(A)	9.74	4.92	2.55
Bolsa de Banano	11.31	5.55	2.77
SBR(B)	-	-	-
SBR(C)	9.23	4.87	2.60
SBS(A)	18.80	10.02	5.24
SBS(B)	13.84	8.13	4.89
G*.senδ ≤ 5 MPa, Asfalto Envejecido RTFO+PAV			
Temperatura de Ensayo	Temperatura Intermedia (°C)	MPa	
AC-30	22	4.14	
SBR(A)	22	4.60	
Bolsa de Banano	22	4.14	
SBR(B)	-	-	
SBR(C)	13	4.20	
SBS(A)	25	4.06	
SBS(B)	22	4.89	

También, es de particular importancia en el uso de modificantes verificar como el mismo se distribuye a la hora de incorporarlo en un asfalto. Por tanto, mediante la técnica de Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) se pudo determinar que el material de bolsa de banano genera una estructura de forma capilar dentro de la matriz del asfalto. Esta distribución es muy distinta a la que exhiben los asfaltos modificados con SBS. (Figura 11)

Finalmente, se realizó un análisis infrarrojo del asfalto modificado con bolsa de banano y sin modificar. Una de las cosas más relevantes de dicha comparación es

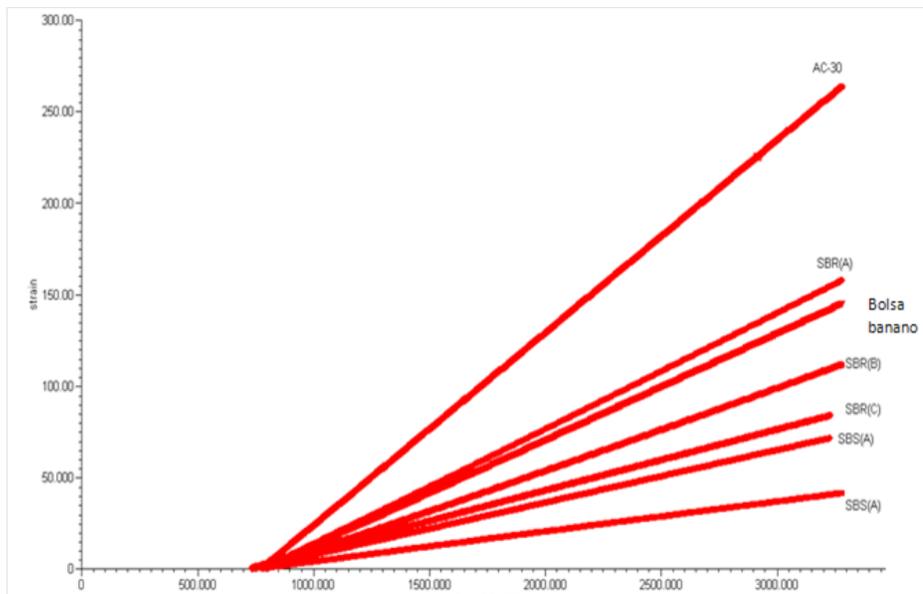


Figura 10. Resultados ensayo de creep repetitivo en asfaltos modificados

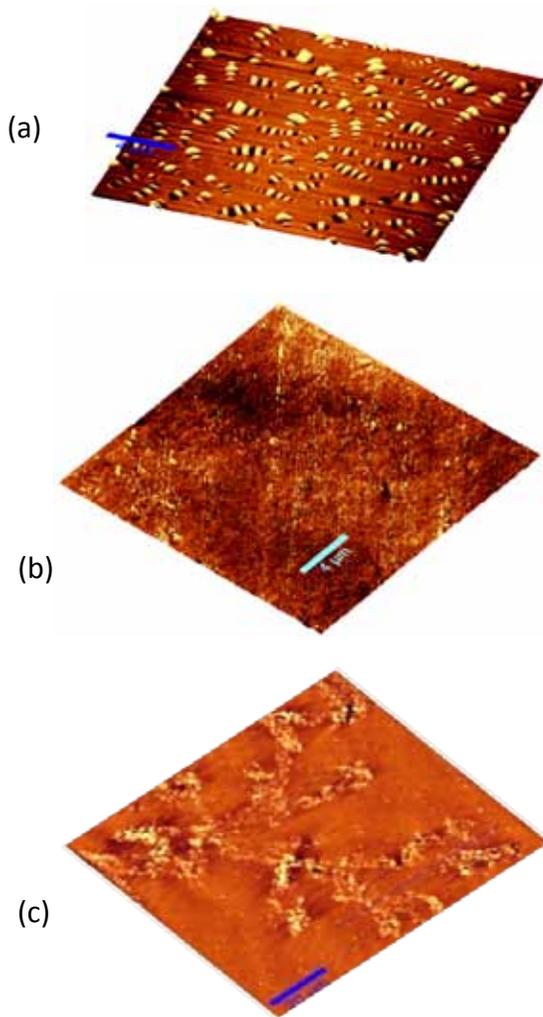


Figura 11. Topografía AFM del asfalto (a) sin modificar, (b) modificado con bolsa de banano y (c) modificado con SBS(A)

la alteración que genera el modificador en la banda de los 1600 cm^{-1} , lo cual se asocia a enlaces de intensidad media $C=C$ por alta sustitución de anillos alifáticos presentes en las Resinas y los Asfaltenos, lo cual incide directamente en el aumento de la respuesta visco-elástica del asfalto. (Figura 12)

Conclusiones

Se ha demostrado que la bolsa de banano, debidamente tratada, representa una alternativa viable en la modificación de asfalto. Desde el punto de vista del ligante, incrementa el grado PG por $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reduce la deformación permanente en aproximadamente un 50%, bajo condiciones normales de tráfico vehicular. Por tanto, su uso es válido en aplicaciones asfálticas de bajo volumen como lo son carreteras rurales, parqueos para vehículos livianos, carriles de bicicleta, entre otras.

Adicional a las ventajas mostradas en el desempeño del asfalto y la mezcla asfáltica, se obtiene el efecto positivo adicional sobre el medio ambiente que resulta del reciclado de las bolsas de banano. El uso de dichas bolsas como modificador del asfalto, en vez de ser desechadas en fosas abiertas o incineradas, podría resultar en la eliminación de aproximadamente 4 kg de material por metro cúbico de mezcla asfáltica. A esto se suma el beneficio que se remueven o degradan los insecticidas que están inicialmente impregnados en la bolsa; material que de otra forma podría ser liberado al medio ambiente a la hora de desechar las bolsas.

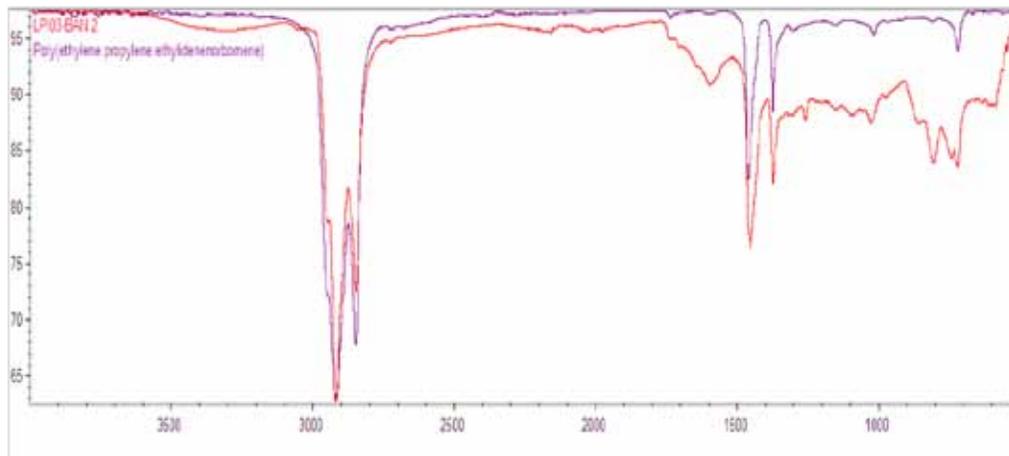


Figura 12. Comparación de espectros infrarrojos (FT-IR) de asfalto virgen y asfalto modificado

Finalmente se resalta que esta iniciativa del LanammeUCR de evaluar la posible incorporación de materiales de desecho en la mezcla asfáltica es un esfuerzo que continúa y que pronto se estarán evaluando otras alternativas como lo son el material de bumpers de vehículos.

de la modificación del asfalto con bolsa de banano en el desempeño de la mezcla asfáltica, según la metodología de diseño Superpave y con base en ensayos de desempeño realizados en muestras preparadas según dicha metodología.

Para mayor detalle en lo presentado anteriormente, favor referirse a Villegas-Villegas et al. (2012).
La segunda parte de este Boletín presentará el efecto

Referencias Bibliográficas

Barraza-Ruiz, D. 2009. Plaguicidas y niños: Exposición y percepción. Tesis de Maestría en Salud Ocupacional, Énfasis Higiene Ambiental. Universidad Nacional de Costa Rica.

Calabi-Floody, A., Thenoux, G. 2012. Controlling asphalt aging by inclusion of byproducts from red wine industry. Construction and Building Materials. Vol. 28, Rev. 1, Pg. 616–623.

CORBANA. 2012. Corporación Bananera Nacional. 12 de Enero de 2012. <http://www.corbana.co.cr/mapa.shtml>

Corbett, L.W. 1970. Relationship between composition and physical properties of asphalt. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1970, vol. 39, pág. 481.

Villegas-Villegas, R.E., Loría-Salazar, L.G., Aguiar-Moya, J.P., Fernández-Gomez, W.D., Reyes-Lizcano, F.A. 2012. Recycling of banana production waste bags in bitumens: A green alternative. Artículo enviado para su consideración a 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress.

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Coordinador General:

Ing. Luis Guillermo Loría, PhD.

Subcoordinador:

Ing. Fabián Elizondo, MBA.

Unidades:

Unidad de Auditoría Técnica

Coordinadora: Ing. Jenny Chaverri, MScE.

Unidad de Materiales y Pavimentos

Coordinador: Ing. José Pablo Aguiar, PhD.

Unidad de Evaluación de la Red Vial

Coordinador: Ing. Roy Barrantes

Unidad de Gestión Municipal

Coordinador: Ing. Jaime Allen, MSc.

Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Coordinadora: Bach. Lionela López Ulate

Unidad de Desarrollo y Actualización de Especificaciones Técnicas

Coordinador: Ing. Jorge Arturo Castro

Unidad de Puentes

Coordinador: Ing. Rolando Castillo, PhD.