

Efecto de materiales nanoestructurados en composites plásticos reforzados con fibras de bagazo y polietileno reciclado

Adolfo Brown-Gómez^{1*}, Juan Alberto Leal-Alfonso¹, Amaury Álvarez-Delgado¹, Ruth Pedroza-Islas², Andrés Gómez-Estévez¹, Martha Salermo-Martínez¹, Milaydis Reyna-Fernández¹, Arelys Rodríguez-Padrón¹, José Alberto Pérez-Hernández¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Vía Blanca No.804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*adolfo.brown@icidca.azcuba.cu

2. Universidad Iberoamericana de México. Prolongación Paseo de la Reforma 880, Lomas de Santa Fe, 01219, México, DF

ruth.pedroza@ibero.mx

RESUMEN

El estudio plantea ampliar la matriz productiva de los derivados de la producción azucarera con soluciones transferibles a las empresas, generando nuevos materiales/productos comerciales con valor agregado, incorporando además el manejo integral de los residuos plásticos (polietileno reciclado). Introduce el empleo de nanomateriales en las formulaciones de las granzas plásticas reforzadas con fibras de bagazo para incrementar las propiedades físico-mecánicas y las prestaciones de los nuevos composites.

PALABRAS CLAVE: composites, fibras de bagazo, nano materiales, bentonita, zeolita.

ABSTRACT

The study outlines to enlarge the productive of sugar cane derivatives with transferable solutions the industry generating new commercial materials with added value, also incorporating the integral handling of the plastic residuals (recycled polyethylene). It introduces the nanomaterials employment in the formulations of the reinforced plastic pellets with bagasse fibers to increase the physique mechanics properties and the benefits of the new composites.

KEYWORDS: composites, baggase fibers, nano materials, bentonite, zeolite.

INTRODUCCIÓN

El polietileno de alta densidad (HDPE) es uno de los materiales químicos de mayor producción a nivel mundial. Este estudio se refiere a este polímero derivado del petróleo como PE. El desarrollo de materiales compuestos ha demostrado que tanto los polímeros naturales como los sintéticos sufren con el tiempo algún tipo de degradación. Esta situación indeseable conduce al material compuesto "composite" a una pérdida de propiedades que limitan su aplicación. La transformación de los materiales compuestos a partir de la inclusión de fibras, aditivos y materiales nanoestructurados (Mnano), es un hecho que sin duda, amplía el campo de aplicación de los mismos a

partir de la extensión de su vida útil frente a la acción de los agentes ambientales, sin dejar atrás el aspecto ecológico (1 - 3). En el estudio se sustituye el polietileno reciclado importado (PER) por el polietileno reciclado de la industria cubana (PEN) con el objetivo de sustituir importaciones. Para lograr el objetivo propuesto, se consideran las impurezas que puedan originarse en los procesos transformativos de la matriz termoplástica durante la selección y reciclaje, ya que la estructura física y morfológica del polímero tendrá una incidencia importante en los procesos que inicien la degradación del mismo. Al igual que otras poliolefinas, el PE tiene la desventaja de ser susceptible a la degradación por luz, calor y oxígeno, siendo esta la causa que justifica la necesidad de

estabilizadores y antioxidantes que garanticen su estabilidad (aditivos) (4 - 6). Los materiales reducidos a la nano escala pueden súbitamente mostrar propiedades muy diferentes a las que exhiben en una macro escala, posibilitando aplicaciones únicas solos o combinados con otros materiales. La ciencia actual tiene identificados varios materiales con potencialidades muy sobresalientes reducidos a nano escala: Ejemplo: nanotubos de carbono, nano celulosa y grafeno (7 - 10).

El objetivo del estudio estuvo centrado en revalorizar el bagazo, coproducto de la producción azucarera, reusar PE excedente de las empresas nacionales e incidir en la búsqueda de mejores propiedades mecánicas a partir de la selección e inclusión de materiales Mnano o mezclas de ellos, ajustando la relación carga/tamaño en todos los casos, beneficiando los procesos de inyección/extrusión y el moldeado de nuevos materiales.

Durante el estudio, se buscó un material resistente a condiciones externas de exposición, que exhiba además una dureza aceptable sin llegar a comportarse como un material quebradizo, que sea resistente a la incidencia de los rayos ultravioleta e incluso, a condiciones naturales de salinidad, es lo que se llama un composite activo/selectivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se identificaron nanomateriales de uso común en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) con prestaciones en la línea Fural para desarrollos estructurales. Finalmente se escogió la bentonita y la zeolita para evaluar su impacto en las propiedades físico-mecánicas del composite.

Se utilizaron fibras de bagazo desmedulado y presecado (FBD) de la Empresa Azucarera Jesús Menéndez de Las Tunas, Cuba. Los estudios de caracterización, adecuación, clasificación y estimación de las cargas, se llevaron a cabo en la planta de composites del Icidca. El porcentaje de humedad medido en las fibras fue de 9 % pero las fibras fueron secadas hasta valores cercanos al 2 % de humedad para su incorporación a la formulación del composite reforzado en forma de granzas/pellets. La caracterización del bagazo aportó los resultados que aparecen en la tabla 1.

La evaluación económica preliminar de esta propuesta considera el cálculo de los costos que introducen las materias primas utilizadas en cada formulación y los servicios públicos para la producción de los composites. Estos cálculos se realizan atendiendo a los precios que regulan el nuevo sistema monetario del Grupo Azucarero Azcuba, inclu-

Tabla 1. Caracterización de fibras de bagazo de la Empresa Azucarera Jesús Menéndez, Las Tunas, Cuba

Propiedad	Resultados
Humedad, %	9,0
Cenizas, %	1,2
(EtOH/Benceno), %	1,9
Celulosa, %	46,0
Lignina, %	23,3
Pentosanos, %	26,3

Pasado por malla de 1,5mm.

yendo en estos precios, los referidos a las fibras de bagazo desmedulado y la energía eléctrica.

Los precios utilizados para el análisis responden a la Res. No. 236 del 22 de mayo de 2015 para la venta en precios minoristas de los insumos, equipos e implementos agrícolas de la producción agropecuaria no cañera (siempre que sean suministrados por la empresa logística Azumat), teniendo en cuenta la metodología utilizada en el documento "Precios Topados Azumat 270516 V-3" buscando uniformar los precios en moneda total (MT). El precio del bagazo desmedulado fue tomado de la Res. No.14 del 27 de enero de 2017 y el precio de la energía eléctrica fue suministrado por el Dpto. de Precios de Azcuba, sin considerar en ambos casos el componente en divisas.

Para la caracterización estructural del polietileno, los espectros se analizaron en un Espectrómetro FTIR modelo Vector 22 (Brüker

Tabla 2. Relación de precios de los consumos fundamentales y servicios públicos de las mezclas analizadas

Materias primas	Precios USD/kg	Precios MT/kg
Fibras de bagazo desmedulado (FBD)	0,00	0,10
Polietileno virgen importado (PEv)	2,50	8,69
Polietileno reciclado importado (PEr)	2,16	7,53
Polietileno reciclado nacional (PEn)	0,92	3,20
Cera polietileno, PeWax	5,75	20,01
Polietileno clorinado, CPE	6,90	24,02
Dióxido de titanio, TiO ₂	8,05	28,02
Agente coupling: ZB-99	7,82	27,22
Retardante, ZnSt	5,41	18,81
Mezcla 1 % zeolita + 1 % Bentonita (Z1B)	0,00	0,00
Energía eléctrica	0,00	0,30

Optik). Por Calorimetría Diferencial de Barrido (Mettler DSC 822, ASTM D 3418-12) se estudió la estabilidad térmica del PEn con el grupo de trabajo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (Inti), Argentina y el posible efecto de la presencia de impurezas durante el proceso de reciclaje en su temperatura de fusión. Se utilizó la Microscopía Electrónica de Barrido (Sem Hitachi SU 3500) para caracterizar la influencia de los aditivos en la compatibilidad fibra-matriz. Se estudió la distribución de los tiempos de residencia (RTD) con las diferentes cargas de fibras, utilizando trazadores plásticos comerciales a un régimen estacionario en términos de velocidad de flujo y presión.

Las mezclas fueron sometidas a 15 min de agitación continua en un mezclador discontinuo Brabender Plasticorder para garantizar una buena dispersión de las fibras y los Mnano en la matriz plástica. El PI fue obtenido en una extrusora doble tornillo Werner & Pfleiderer ZSK 25 WLE. Con cada formulación de PI, se moldearon por inyección con la ayuda de una prensa de inyección y moldeo (Ray Ran) 10 probetas Alter (figura 1).

Los resultados de las pruebas reológicas se realizaron en un reómetro oscilatorio (Anton Paar modelo Physica MCR 301), geometría de plato (gap) de 25 cm de diámetro, barrido de frecuencia en un rango de 500 a 0,1 s⁻¹, gap de 1 mm, la deformación constante de 1 % del gap y temperatura de 180 °C.

Caracterización de las matrices plásticas

Conjuntamente con la revalorización del bagozo, este trabajo busca la reincorporación de PE posconsumo al desarrollo de nuevos materiales reforzando sus propiedades físico-mecánicas.



PEvPErPEn

Figura 1. Tipos de polietileno utilizados en las formulaciones.

Para identificar las matrices plásticas y su origen:

PEv: polietileno virgen importado (alta densidad).
PEr: polietileno reciclado importado (alta densidad).

PEn: polietileno reciclado nacional (alta densidad).

PI: producto intermedio obtenido de la formulación propuesta.

Mnano: materiales nano estructurados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Espectroscopía infrarroja (FTIR)

La estructura química del PE reciclado de la industria de materias primas cubana se corresponde con la del polietileno virgen después de los procesos de fusión de la matriz reciclada lo cual habla muy a favor del proceso de selección, clasificación y reciclaje realizado por la Unión de Empresas de Materias Primas a la Empresa Militar Industrial. No se evidenció la aparición de grupos cromóforos carbonilos (C=O) como resultado de la industria transformativa en el PEn, que son grupos que pueden aparecer como impurezas incorporados a la cadena principal, capaces de absorber radiaciones en la región UV-visible, estimulando la fotodegradación directa.

Calorimetria diferencial de barrido (DSC)

Se evidenció una transición endotérmica asociada a la temperatura de fusión de la matriz hacia los 132,63 °C, denotando la naturaleza aceptable de la matriz para los fines propuestos, al comparar este resultado con los reportes teóricos (130-135 °C) referidos a su temperatura de fusión en estado virgen. La matriz mantiene su comportamiento cristalino, pero con la presencia de zonas amorfas y serán estas últimas, las encargadas de conferir dureza, al permitir que el polímero pueda plegarse sin romperse.

Al igual que en otras poliolefinas, el oxígeno tiende a degradar térmicamente a todos los polímeros. La temperatura de operación para cada material termoplástico no es estándar y varía según el proveedor (peso molecular, ramificación del polímero, polidispersidad y aditivos).

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las micrografías obtenidas por SEM demuestran que para el caso de los materiales donde no se adiciona agente de acoplamiento, la interacción fibra-matriz es más débil debido al carácter polar e hidrofílico de las fibras y apolar de las poliolefinas (figura 2a), sin embargo, al introducir ZB-99 en la matriz plástica se aprecia una buena interacción fibra-matriz (figura 2b). Si las fibras quedan separadas y no se distribuyen, las propiedades mecánicas se afectan.

Para la formulación de los composites, se utilizaron fibras de 1,5 mm mejorando las propiedades mecánicas a pesar del incremento en la carga de FBD. Desde el punto de vista mecánico, al aumentar la relación de esbeltez L/D aumenta el área de la superficie específica disponible para transferir

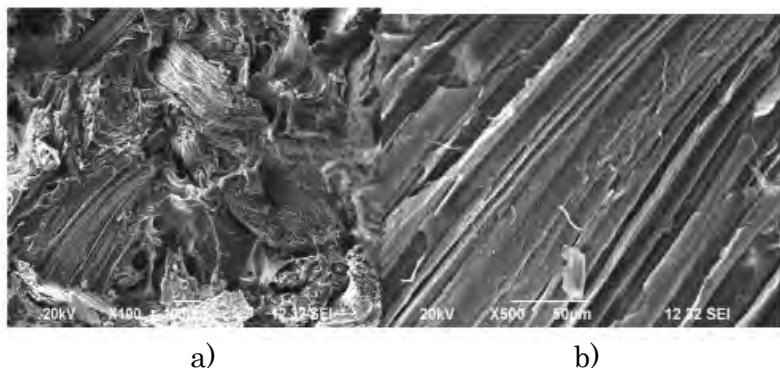


Figura 2. a) sin agente coupling, b) con agente coupling.



Figura 3. Evaluación de los RTD para las formulaciones estudiadas.

tensiones de la matriz a las fibras, aumentado el módulo. La distribución de los tiempos de residencia (RTD) con las diferentes cargas de fibras, fue medida utilizando trazadores plásticos comerciales, figura 3. Los mejores resultados fueron medido entre 1,45 y 2,15 min.

Formulaciones propuestas para el estudio

M-1: 30 % FBD + 60 % PEn + 10 % PEv + aditivos (moldeo por inyección)

M-2: 50 % FBD + 45 % PEn + 5 % PEv + aditivos (moldeo por extrusión)

Estas formulaciones fueron preparadas con FBD, adicionando 2 % y 4 % de zeolita y bentonita, y finalmente un 2 % de la mezcla Z1B.

Ensayos de esfuerzo-deformación

Constituye un doble reto utilizar fibras naturales y Mnano para formular un composite, ya que todos deben ser dispersados y distribuidos en la matriz termoplástica, pero a la vez, deben permanecer lo más estable posible. Estos materiales tienden a formar aglomerados y cuando esto ocurre, se produce una pérdida de propiedades mecá-

nicas y no un aumento, ya que el estrés es función directa del área de la unión partícula-polímero y donde existe aglomeramiento, no hay buena fluencia de matriz plástica y se puede propiciar una zona de fractura.

Los ensayos de esfuerzo-deformación brindan una valiosa información en cuanto a resistencia y tenacidad de los composites. Cuando se formula un composite se pretende encontrar un material con propiedades mecánicas y funcionales diferentes a las del polímero en estado natural y que además brinde una respuesta satisfactoria para la prestación o

prestaciones deseadas.

Cuando se habla de la resistencia en un composite, se vincula esta propiedad mecánica a varios aspectos que definen su capacidad de soportar una fuerza o tensión determinada: resistencia tensil, a la compresión, a la flexión o la torsión, tabla 3.

La comparación entre las probetas ensayadas con Mnano demostró la influencia que ejercen cada uno de los Mnano/concentración por separado sobre la matriz plástica y cómo el porcentaje de adición también incide en el resultado final de la propiedad medida. Con 2 % de adición a la matriz plástica reciclada a nivel nacional, prevalece la zeolita y con 4 % se logra incrementar resistencia con la bentonita. Este comportamiento indica que se puede combinar ambos materiales, buscando un resultado común en el aporte que cada uno por separado incorpora a la matriz, contando con el refuerzo que también introducen las cargas de fibras.

La rigidez de los diferentes materiales se encuentra directamente relacionada con el módulo de elasticidad, ya que de él depende la capacidad que tenga un material para deformarse ante una fuerza aplicada. En este caso, la diferencia con zeolita y bentonita no es relevante.

Siguiendo el comportamiento físico mecánico aportado con los materiales empleados y el reporte de los resultados, se formularon probetas con mezcla de los Mnano, siendo seleccionada para su empleo y análisis, la mezcla formada por 1 % de zeolita + 1 % de bentonita (Z1B) bajo las mismas condiciones de las probetas analizadas en la primera etapa con PEn. Finalmente, se decidió incorporar un 2 % de esta mezcla Z1B a la formulación de las probetas M-1 y M-2. Los resultados alcanzados se reportan en la tabla 4.

Los resultados demuestran que la adición del 2 % de Z1B a la matriz de PEn mejora la resistencia a la tracción y la flexión hasta 942 N/mm² y 2080 N/mm² respectivamente, demostrando el impacto que pueden incorporar los Mnano a la resistencia del composite, siempre que se comprue-

Tabla 3. Resultados incorporando a la formulación 2% de Mnano

Muestras	Probetas ensayadas con 2 % de Mnano						
	Flexión N/mm ²	Ef N/mm ²	Elongación %	Tracción N/mm ²	Et. N/mm ²	Elongación %	Dureza HB
Media, 10 mediciones							
Blanco PEn	8	933	17	33	1086	9	268
Bentonita	8	906	15	33	590	9	318
Zeolita	8	915	15	33	1157	8	88
Muestras	Probetas ensayadas con 4 % de Mnano						
	Flexión N/mm ²	Ef N/mm ²	Elongación %	Tracción N/mm ²	Et. N/mm ²	Elongación %	Dureza HB
Media, 10 mediciones							
Blanco PEn	8	933	17	33	1086	9	268
Bentonita	7	902	13	32	1019	10	49
Zeolita	8	902	17	31	971	8	70

Tabla 4. Ensayo de probetas de PEn, M-1 y M-2 incorporando 2 % de Z1B.

Muestras	Flexión (N/mm ²)	Ef (N/mm ²)	Elongación %	Tracción (N/mm ²)	Et. (N/mm ²)	Elongación %	Dureza HB
Blanco PEn	8	933	17	33	1086	9	268
Pen + 2 % Z1B	8	942	16	30	2080	7	273
M-1 + 2 % Z1B	10	1294	24	33	1182	9	107
M-2 + 2 % Z1B	10	1505	19	34	1189	7	102

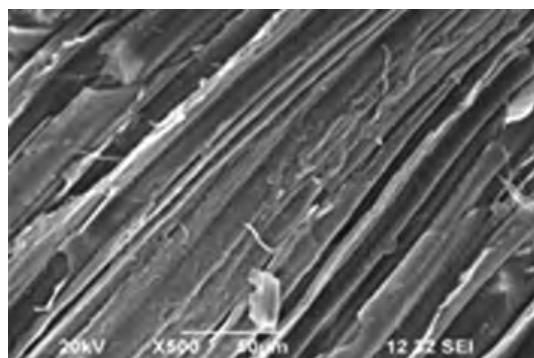
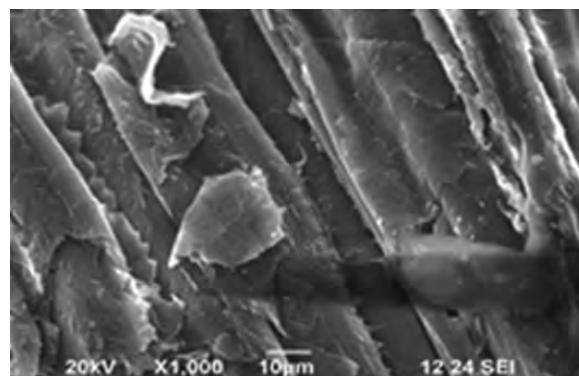
be mediante un estudio de las cargas, cuál será la combinación más apropiada para lograr los objetivos deseados, a partir del análisis de los materiales de partida.

Al analizar los resultados de las mezclas M-1 y M-2 se observó que tanto la carga de fibras como la incorporación del 2 % de Z1B, hacen más evidente el refuerzo. La rigidez de los diferentes materiales formulados se encuentra directamente relacionada con el módulo de elasticidad, ya que de este último depende la capacidad que tenga un material para deformarse ante una fuerza aplicada.

Los valores elevados de tracción son indicativos de que ante un esfuerzo axial, bajo la acción de una fuerza estática, el material ensayado adicionando el 2 % de Z1B, aumenta su resistencia tensil a la rotura.

La dureza es una condición de la superficie del material y responde al porcentaje de carga o refuerzo empleado en la formulación, este valor indica cuánta energía se necesita para romper una probeta, sin embargo un material resistente no necesariamente debe ser duro. Los materiales resistentes disipan mejor la energía a partir de la deformación que soportan sin romperse.

La relación de aspecto que se aprecia al introducir en la formulación el 2 % de Z1B es buena gracias al tamaño de las fibras y los esfuerzos de corte que se generan durante el proceso, no provocan daños que puedan afectar la transferencia de cargas y el esfuerzo reforzante, figuras 4 y 5.

**Figura 4.** M-1 + 2 % Z1B.**Figura 5.** M-2 + 2 % Z1B.

El incremento de FBD incorporando el 2 % Z1B mejora la resistencia a la tracción y la flexión para las cargas de fibras analizadas. No se obser-

va de laminación en la relación de aspecto de las micrografías, demostrándose una dispersión adecuada de fibras y Mnano para las formulaciones estudiadas, y la eficiente interacción fibra-matriz-Z1B alcanzada en cada caso, con el empleo de ZB-99 como agente coupling. Como resultado, los esfuerzos de corte que se generan durante el proceso no provocan daños que puedan afectar la transferencia de cargas y el esfuerzo reforzante.

PRUEBAS REOLÓGICAS

Relación entre el esfuerzo y deformación de materiales con capacidad de fluir

- Los cambios de la viscosidad pueden provocar cambios durante el procesamiento del plástico.
- Las probetas con 30 % de FBD solas, no experimentan cambios significativos, la viscosidad no tiene grandes variaciones. Las formuladas con 50 % sufren un decremento de la capacidad de fluir de la matriz, el proceso de mezclado se hace más lento.
 - La incorporación de 2 % de Z1B genera un incremento en la viscosidad con respecto al PEn solo, esto indica una buena dispersión de la mezcla/carga de Mnano seleccionados dentro de la matriz polimérica.
 - La muestra con PEn solo tiene comportamiento de líquido viscoso ($G'' > G'$), mientras que la muestra que incorpora el 2 % de Z1B presenta comportamiento de gel elástico ($G' > G''$) debido a la eficiente interacción de la matriz con las partículas: se incrementa la resistencia.

Posibles aplicaciones del PI formulado con estos materiales

Un estudio de mercado realizado por la Consultoría Biomundi, en marzo de 2017, arrojó como resultado un total de 12 compañías líderes en el mercado global de los materiales reforzados, siendo las más sobresalientes la Dow Chemical Company (EE.UU) y la BASF (Alemania). Sin embargo, el mercado latinoamericano de pellets plásticos reforzados con fibras de bagazo es todavía incipiente y sus resultados productivos no han alcanzado visibilidad en el mercado.

Las aplicaciones hasta ahora identificadas se relacionan a continuación:

Desarrollo de subsistemas constructivos de bajo costo, paneles interiores no portantes, vigas puentes, vigas doble T, tabiquería ligera, pisos, tube-

tes para el soporte de posturas y otros, que pueden ser moldeados en las empresas transformadoras de plásticos del país ya sea por inyección o extrusión, en función de las cargas de fibras empleadas.

Estudio económico preliminar

Este trabajo establece el reciclaje de plásticos posconsumo a nivel nacional. Esta operación cuesta dinero y son cuatro las actividades a través de las cuales se incurre en dichos costos. Sin embargo, el reciclaje puede también generar ingresos a través de la venta del material recogido y de los ahorros que se obtienen al evitar costos de eliminación o importación, siendo el equilibrio entre los costos y los ingresos el que determina los resultados económicos de un proyecto de este tipo. Si se vincula esta actividad al concepto de acciones de desarrollo sostenible, se genera con esta propuesta crecimiento económico y mejoramiento social en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, satisfaciendo las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras, empleando los recursos de la nación en función de garantizar el desarrollo sostenible del país.

Se observa que el costo de producción no se afecta al incorporar 2 % de Z1B. Esta adición solo incrementa las propiedades mecánicas del composite, debido a que la zeolita y la bentonita se consideran sin costo en el análisis referido en la tabla 2.

Si el análisis económico tuviera en cuenta una mezcla A y B, con 30 y 50 % de FBD respectivamente, pero utilizando polietileno reciclado importado (PEr), entonces se evidencia el impacto que tiene en el costo de producción del PI, el reciclaje y empleo del PEn (tabla 6).

Tabla 5. Evaluación preliminar de los costos en moneda total y divisa para 1 t de granzas según diferentes mezclas

Costos de cada mezcla	M-1	M-2	M-1+ 2 %Z1B	M-2+ 2 %Z1B
USD/t	2989,0	2549,0	2989,0	2549,0
MT/t	10550,0	9042,0	10550,0	9042,0

Tabla 6. Costo en moneda total y divisa (en miles) para 1000 t de granzas según diferentes mezclas y la proporción de su componente en divisa

Costos de cada mezcla	Precio		Proporción del componente en divisa
	MUSD	MMT	
A	3735,00	13150,00	28,40
B	3108,00	10990,00	28,28
M-1+ 2 %Z1B	2989,00	10550,00	28,33
M-2+ 2 %Z1B	2549,00	9042,00	28,19

Los resultados de la tabla 6 demuestran el impacto económico que se alcanza cuando se introducen cargas de fibras, se sustituye el PEr por el PEn, se ajustan los aditivos en las formulaciones y se incorpora el 2 % de la mezcla Z1B. Los gastos de los Mnano se deben considerar como otros gastos no asociados a la producción cuando se defina a nivel de mercado, cuánto cuesta su transportación y manipulación.

CONCLUSIONES

1. Se confirma la calidad del PE reciclado para su empleo en la formulación de composites plásticos reforzados.
2. Se demuestra a partir de los ensayos físico-mecánicos cómo el empleo de Mnano puede incidir en el refuerzo de las propiedades del material composite formulado.
3. Se corrobora la eficiencia del anclaje fibra-matriz cuando se utiliza ZB-99 como agente coupling en las formulaciones estudiadas.
4. La adición del 2 % de Z1B incrementa la resistencia de la matriz plástica, y aumenta su carácter reforzante con las muestras M-1 y M-2 a partir de la presencia de las fibras de bagazo.
5. Los ensayos reológicos demostraron que la

incorporación del 2 % Z1B, genera un incremento en la viscosidad con respecto al PEn solo, una buena dispersión de la mezcla/carga de Z1B dentro de la matriz polimérica y el paso de un líquido viscoso a un gel elástico, lo que favorece una buena la relación esfuerzo/deformación.

6. Se demuestra que la combinación adecuada de FBD y Mnano pueden considerarse una opción más, para ampliar la matriz productiva de una Planta de Composites integrada a la rehabilitación de una planta de tableros, dando como resultado productos comerciales de interés para la industria transformadora de plásticos, susceptibles al mercado nacional y extranjero.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en la persona del Dr. Mariano Martín Escobar, por su ayuda en la caracterización de estos materiales, a partir del Proyecto FOAR.

A la Universidad Iberoamericana de México (UIA) en la persona de la Dra. Ruth Pedroza Islas, por su ayuda en la caracterización de estos materiales a partir del Programa Institucional de Académicos Visitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bledzki, A., & Faruk, O. Creep and impact properties of wood fibre-polypropylene composites: Influence of temperature and moisture content. *Composites Science and Technology*, (2004), 64(5), pp. 693-700.
2. Moya, C., Poblete, H., & Valenzuela, L. Propiedades físicas y mecánicas de compuestos de polietileno reciclado y harinas de corteza y madera de *Pinus radiata* fabricados mediante moldeo por inyección. *Revista Maderas, Ciencia y Tecnología*, (2012), 14(1), pp. 13-29.
3. Ngueho, M., Koubaa, A., Cloutier, A., Soulounganga, P., & Wolcott, M. Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, (2010), vol.41, pp. 131-137.
4. Yang, H., Kim, H., Park, H., Lee, B., & Hwang, T. Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-poly olefin bio-composites. *Composite Structures*, 72(4), pp. 429-437.
5. Yeh, S.-K., Agarwal, S., & Gupta, R. (2009). Wood-plastic composites formulated with virgin and recycled ABS. *Composites Science and Technology*, (2006), 69(13), pp.2225-2230.
6. Zabihzadeh, M. Water uptake and flexural properties of natural filler/HDPE composites. *Bioresources*, (2010), 5(1), pp. 316-323.
7. Brown A., Matellanes L., Momeñe E., Txarroalde J.R., Serantes M. El bagazo. Su empleo en composites comerciales reforzados. *Rev. Plásticos Modernos*. (2006), No.601, p.50-52, ISSN 0034-8708.
8. Adriana Restrepo, Robin Zuluaga, Cristina Castro, Natalia Correa y col. Nano-composites reforzados con microfibrillas de celulosa aisladas de paredes celulares del raquis de banano. *Scientia et Technica*, Año XIII, No. 36. September. Univ. Tecnológica de Pereira. P. (2007)689-694 ISSN 0122-1701.
9. Michael Loelovich. Structure and properties nano-particles used in paper compositions. XXI TECNICELPA Conference and Exhibition/VI CIADICYP (2010), 12-15 October 2010, Lisbon, Portugal.
10. Rejeski, D. (2009). *Nanotechnology and consumer products*. 3^o Edition. 4330 East West Highway Bethesda, M.