
COMPUESTO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD Y FIBRA DE AGAVE TEQUILANA

María Blanca Becerra Rodríguez¹, Ranganath Shastri², Roberto Zitzumbo Guzmán³, Jorge Luis García Alcaraz⁴.

¹CIATEQ. ²Gerencia de Investigación Tecnológica y Vinculación- Plásticos, CIATEQ Unidad EDOMEX. ³Investigación en materiales, CIATEC. ⁴Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Cd. Juárez.

Resumen

El género Agave, que se ubica en la familia Agavaceae, incluye varias especies de plantas adaptadas a condiciones de aridez. Se reportan 197 especies incluidas dentro de los dos subgéneros reconocidos (*Litsea* y *Agaveae*). De este total de especies, 136 se pueden encontrar en México (Domínguez, 2008). Para este compuesto se utilizó polietileno de baja densidad (PEBD) y fibra de agave tequilana (una de las agaves de los grupos vegetales más representativos de México) en polvo. Con una concentración de 20% de fibra de agave (F.A) y 80% de (PEBD), se utilizó una extrusora monohusillo y una maquina de inyección de plástico. Se determinó que efecto puede obtenerse en este compuesto con tres tiempos diferentes de mezclado: 5, 10 y 15 minutos, en su densidad, absorción de agua, resistencia al impacto Izod y propiedades térmicas con el DSC (Calorimetría Diferencial de barrido). Los resultados mostraron que no hay diferencia entre los tiempos de mezclados y que se tiene un buen control de mezclado de la fibra de agave.

Palabras claves: Fibra de agave tequilana, polietileno de baja densidad.

Introducción

Actualmente la contaminación en México, que se tiene en el medio ambiente por el incremento de desechos plásticos pos-consumo, se ha convertido hoy en día en una seria preocupación para la conservación del medio ambiente, debido al tiempo de vida de estos materiales en el ambiente además de no ser biodegradables (Robledo, 2009). Aproximadamente son 5 MM ton/año que representan un consumo total de plástico en México. Casi 50 % de éstos representan la cantidad de desechada (IMPI, 2007). El Polietileno de Baja Densidad es el más empleado de todos los plásticos y se usa en el sector de envases y empaque: bolsas, botellas; comprensibles para pulverizar fármacos, envase industrial, laminación, película para forro, película encogible y estirable, aislante para cables, y conductores,

tubería conduit, película para invernadero, tubería de riego y sistemas de irrigación (QuimiNet, 2011).

Por otra parte en México, durante la producción de tequila, después del proceso de extracción del jugo de agave, una gran cantidad de fibra es generada convirtiéndose en material de desecho. Existen algunas propuestas para el uso de estas fibras como por ejemplo: componentes en proceso de composteo y producción de alimento para ganado, sin embargo estas aplicaciones no son suficientes para manejar la enorme cantidad de fibra generada (Robledo, 2009).

Por lo que se busca el desarrollo de materiales compuestos como una alternativa de protección al medio ambiente, y diferentes opciones de solución para reducir

el impacto ambiental de dos sectores muy importantes como son: plásticos y agro-industrial. Una de las razones más relevantes para la industria es la disminución de costos frente a materiales tradicionales aportando las mismas prestaciones.

Existen diferentes estudios de alternativas para disminuir la generación de desechos plásticos, utilizando fibras naturales biodegradables de carácter renovable (Brown, 2007) como por ejemplo: Fibras de plátano, coco, algodón, lino, sisal, cáñamo, yute, henequén, kenaf, fique, Agave Americana, tallo de maíz, cascarilla de arroz, cáscara de almendra, lechuguilla, reportados en Martínez (2006) con varias aplicaciones en lo industrial desde lo artesanal hasta la industria automotriz.

En Cuba, el Instituto Cubano de investigaciones de los Derivados de Caña de Azúcar (ICIDCA), ha desarrollado técnicas para la utilización de excedentes de bagazo de caña. Por ejemplo, Brown (2007) hizo un procedimiento para elaborar tableros, si el tablero es para interiores se utiliza urea-formaldehído. De la misma manera, también se han utilizado con cemento y yeso, dando resultados alentadores (Tapia, 2006).

Por ejemplo en México, se experimentó la aplicación de lechuguilla (agave lechuguilla) como refuerzo de compuestos en base de cemento, obteniendo buenos resultados en lo que concierne a las pruebas de flexión (Tapia, 2006).

Es por esto que al desarrollar un nuevo compuesto nos puede introducir en aplicaciones industriales que ayuden a reducir al impacto ambiental.

El objetivo de este trabajo es la evaluación del efecto de tiempo de mezcla de 20 % fibra de agave tequilana (FA) y 80 % de Polietileno de baja densidad (PEBD).

Materiales

Se utilizó fibra de agave tequilana en forma de polvo, el cual se adquirió (donado) por la empresa Sol y Agave de Arandas S.A de C.V, ubicado en la población de Arandas, estado de Jalisco, México y Polietileno (PEBD) utilizado NA870-252 producido por PROMMEX International Trade, S.A de C.V., donde se usaron las siguientes pruebas:

Para la prueba de densidad se utilizó alcohol etílico, agua para la prueba de absorción de agua y el equipo utilizado fue:

Mezclador en forma de pantalón con capacidad de 50 kg sin marca.

Extrusora Beutelspacher modelo 203UCBN2A18.

Peletizador Beutelspacher 111208.

Inyectora Jon Wain400 Ton.

Balanza OHAUS modelo: EP413.

Báscula Tor-rey, DSC Q20.

Picnometro PYREX No. 1620-25 24/12.

Impactometro Atlas modelo CS-137 BPI&CPI Pendulum Impact Tester.

Software: Statgraphics y Minitab.

Métodos

Se prepararon los tres tipos de mezclas en 20 % de F.A y 80 % de PEBD, los tiempos de mezclado fueron de: 5, 10 y 15 min en el mezclador de capacidad de 50 Kg. Codificando de las mezclas como: 80205, 802010 y 802015.

Se extruyeron las mezclas bajo las siguientes condiciones de operación: el tipo de dado de tres filamentos, sin condiciones de secado y sin malla. Se considera que la extrusora tiene tres zonas, la zona 1 trabajó a

170 °C, la zona 2 a 180 °C y la zona 3 a 190 °C.

Las condiciones de parámetros en extrusora fueron: velocidad de husillo de 055 rpm, potencia del motor de 004 amperes, pelletizado a velocidad de 12 %, obteniéndose como productos los pellets (gránulos) de las mezclas.

Antes de hacer la inyección de las probetas universales y prueba de impacto, las mezclas se presecaron 5 días a temperatura ambiente, las condiciones de operación fueron: ciclo total de 34 s, tal como se ilustra en la Tabla 1, mientras que las temperaturas de los parámetros de la inyección se ilustran en la Tabla 2 y las temperaturas del molde fueron de 19 °C para el lado móvil y 21 °C para el lado fijo.

Tabla 1. Temperaturas de zonas del cañón de la inyectora.

Zona1	Zona2	Zona3	Zona4	Zona5
145 °C	180 °C	175 °C	175 °C	170 °C

Tabla 2. Parámetros de la inyección.

	3	2	1
Presión	25%	25%	25%
Velocidad	20%	20%	20%
Posición	20 mm	25 mm	50 mm

El tiempo de inyección fue de 2.10 min y el porcentaje de cargas de la inyectora se ilustra en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de cargas de la inyectora

1	2	3
85%	85%	85%
30%	30%	30%
55%	55%	55%

El enfriamiento fue de 15 s con un cierre al molde de 320 mm. Los parámetros generales del cierre al molde se ilustran en la Tabla 4, mientras que los parámetros de abertura al molde se ilustran en la Tabla 5 y en relación a los parámetros de la expulsión, éstos se ilustran en la Tabla 6.

Tabla 4. Parámetros al cierre del molde

	Vel. 1	Vel. 2	Baja p3	Alta p4
Presión	50	30	80	140
Velocidad	50	50	30	25
Posición	150	80	75	-----

Tabla 5. Parámetros a abertura del molde

Freno	Vel.2	Vel.1	Inicio
20	40	50	60
20	30	30	10
----	150	120	15

Tabla 6. Parámetros de expulsión

	1era	2da	3era
Presión	45	50	40
velocidad	8	8	6
Pausa	0	0	0
Posición	20	30	8

Técnicas de análisis

Densidad.- Para la estimación de la densidad se calculó mediante el método de desplazamiento de volumen, en el cual se tiene en cuenta el peso de éstos y el volumen desalojado (Moreno, 2007). Para las mediciones se tomaron 4 probetas de cada

mezcla. Primero se pesó una pequeña muestra de cada probeta en la balanza OHAUS, segundo se pesó el picnómetro con alcohol etílico y ese se llamo P_1 , tercero se pesó el picnómetro lleno de alcohol etílico más la muestra fuera del picnómetro a la cual se denominó P_2 , cuarto, se pesó el picnómetro con alcohol etílico y la muestra dentro del picnómetro y se denominó P_3 .

La ecuación utilizada fue:

$$\rho = (\text{Densidad del alcohol etílico}) \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_3} \quad (1)$$

Absorción de agua.- Para la medición del porcentaje de absorción de agua, se tomaron 4 probetas de los tres tipos diferentes de mezclas, después se acondicionaron en el laboratorio a $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 20 % de humedad relativa por 24 h. Primero, se pesaron las probetas en la balanza OHAUS con resolución de 0.0001 gr y se le llamó P_h ; segundo, se sumergieron las probetas en agua por 24 h, a los que se denominó P_s y se sacaron del agua y secaron con tela de algodón, se pesaron nuevamente las probetas y así sucesivamente se hizo este procedimiento cada 24 h, hasta acumular 168 h.

La ecuación utilizada fue:

$$\% \text{ absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_h} * 100 \quad (2)$$

Resistencia al impacto Izod.

Se prepararon 10 probetas de los tres tipos de mezclas con dimensiones de 80 mm x 40 mm x 4.24 mm, se acondicionaron la probetas en el laboratorio de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $50 \text{ } \% \pm 5 \text{ } \%$ de humedad relativa por lo

menos 40 h, bajo la norma ASTM D256 y el método D.

Posteriormente se hicieron las muescas de acuerdo a un radio de 0.25 mm para la concentración del punto.

Propiedades Térmicas DSC.

El estudio termoanalítico se desarrolló en un calorímetro de barrido, para determinaciones de punto de fusión y cristalización. Se programaron en régimen dinámico velocidades de calentamiento de 10 grados/min, desde temperatura ambiente de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Resultados

De acuerdo a algunas fibras naturales más empleadas como refuerzos o cargas tienen relación con los valores de densidad calculados por otros investigadores. De ahí que hay otra ventaja más de las fibras naturales contra las fibras sintéticas y es que son más económicas, renovables y bajo peso específico. Algunas densidades usadas como base se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Relación de las densidades de las fibras que se han estudiado más la densidad de la fibra de la tequilana.

Fibra	Densidad (Kg/m ³)
Vidrio	2600
Cáñamo	1500
Sisal	1370
Plátano	900
Bagazo Cubano	1500
Lino	1400
Albahaca	1500
Yute	1460
Ramio	1500
Coco	1250
Algodón	1510
Agave Tequilana	1400

Por lo que podemos apreciar, en la Tabla 7, todas las fibras naturales que están por debajo de la densidad de la fibra de vidrio, lo cual nos da una excelente ventaja sobre el costo de los compuestos con fibras naturales, a partir de la reducción de peso y facilidad de fabricación, además de que con ello reducimos un poco al impacto ambiental.

Los resultados aportados por los ensayos de densidad para el material compuesto de PEBD y F.A se muestran en la Tabla 8 y en la Figura 1.

Tabla 8. Ensayos de densidades en función de los diferentes tiempos de mezclados para el PEBD y la FA

		Kg/m ³
Mezcla 1:	80205	862.53 ± 60.29
Mezcla 2:	802010	866.65 ± 89.80
Mezcla 3:	802015	860.43 ± 4.67

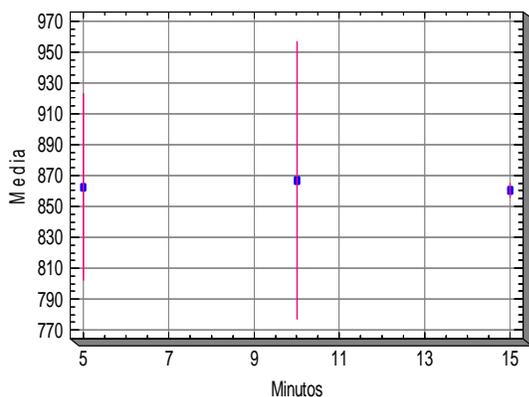


Figura 1. Gráfica de ensayos de densidad

Aquí se observó que no hay un efecto significativo en el tiempo de mezclado para los tres tipos de mezclas. En cuanto a la absorción de agua de las tres mezclas, los resultados se ilustran en la Figura 2.

El porcentaje máximo de absorción de agua como se puede observar es de 0.4

%. El tiempo mínimo de saturación es aproximadamente a las 100 horas. También se muestra que no hay efecto por los tiempos de mezclado de las mezclas para la absorción de agua.

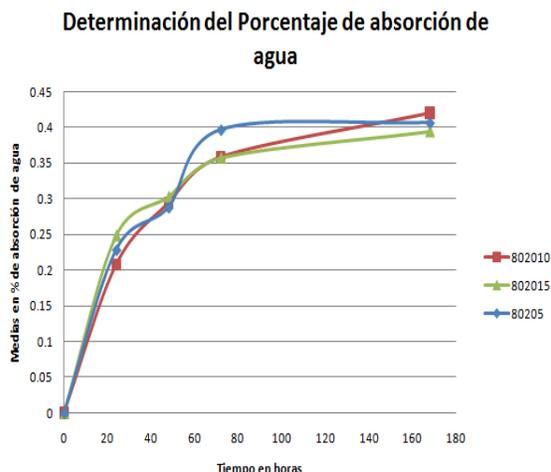


Figura 2. Gráfica de los ensayos de porcentaje de absorción de agua

En cuanto a la resistencia de impacto, las tres mezclas resultaron ser muy frágiles al presentar en todos los ensayos el tipo de de falla “C”, esto se atribuye a que faltó tener algún agente de acoplamiento que le ayude a mejorar la interfase entre la matriz polimérica y la fibra.

Los resultados obtenidos en la calorimetría diferencial de barrido se muestran en la Figura 3, Figura 4 y Figura 5. El DSC de la mezcla 80205, muestran tres curvas, la primera curva se refiere al primer calentamiento del compuesto que da una temperatura endotérmica de 110.57 °C, en la segunda curva se ve la liberación exotérmica del compuesto con temperatura de cristalización de 99.01 °C y en la última curva se define la temperatura de fusión de 109.78 °C.

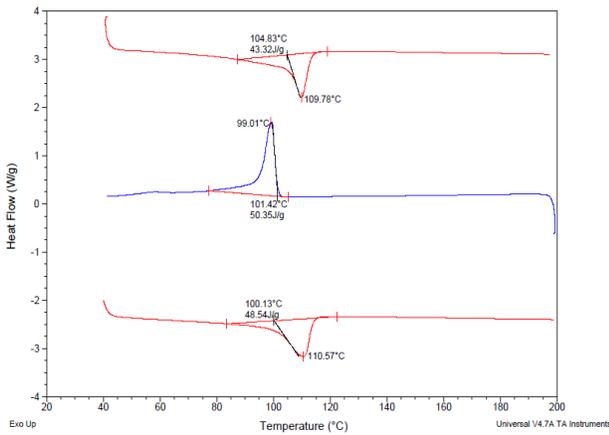


Figura 3. Gráfica del DSC de la mezcla 80205

En la Figura 4 se muestra el DSC de la mezcla 802010, donde se observa que en la primera curva que se le da al compuesto aparece una temperatura endotérmica de 110.60 °C, en la segunda curva aparece la temperatura de cristalización de 98.91 °C y en la última curva se define la temperatura de fusión de 109.87 °C.

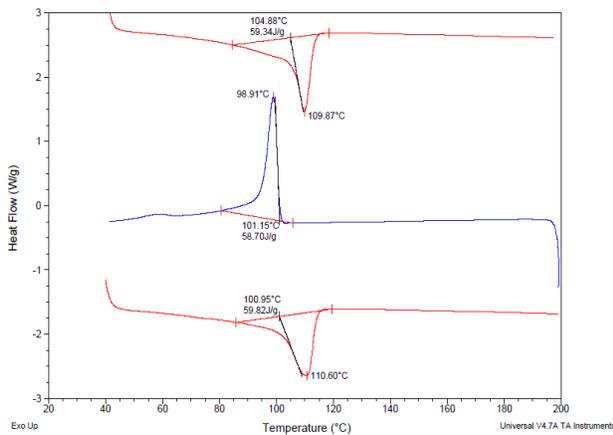


Figura 4. Gráfica del DSC de la mezcla 802010

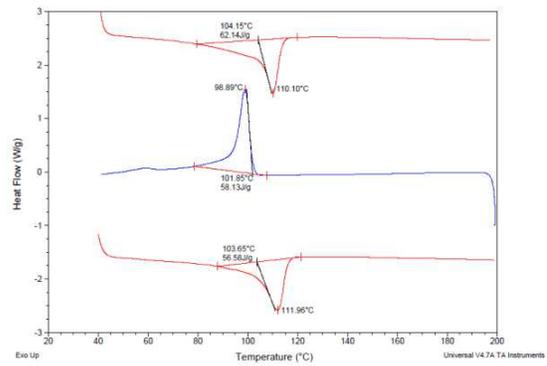


Figura 5. Gráfica del DSC de la mezcla 802015

El DSC de la mezcla 802015, donde se observa que en la primera curva el compuesto se calienta llegando a tener una temperatura endotérmica de 111.96 °C, en la segunda curva aparece la temperatura de cristalización de 98.89 °C y en la última curva se presentó la temperatura de fusión de 110.10 °C.

Conclusiones

Los materiales compuestos de plásticos y fibras naturales de agave que eran de desecho, benefician a la zona de Arandas en el estado de Jalisco, México, dado que además de reducir un poco en el impacto ambiental a nivel nacional, contribuyen con este tipo de materiales compuestos a la conservación del medio ambiente y otra ventaja será la de tener un costo bajo en comparación de los plásticos tradicionales ya existentes obteniendo mejores propiedades.

Se puede decir que el tiempo de mezclado en las tres mezclas que se desarrollaron del material, no tienen efecto alguno, por lo que se seleccionó el mezclado de 5 minutos.

En cuanto a la densidad calculada ya en el compuesto se observó que no influye mucho el tiempo de mezclado en ello, pues las densidades son muy similares, lo que muestra también un buen porcentaje de control de mezclado de la fibra de agave.

En cuanto al porcentaje de absorción de agua, se observó que la velocidad de absorción no se ve afectada por el tiempo de mezclado.

De acuerdo a las pruebas realizadas de la resistencia al impacto izod, se observó que es esencial el uso de agente de acoplamiento para mejorar significativamente la interfase entre la matriz polimérica y las fibras de agave, y así mejoran las propiedades mecánicas del compuesto, aquí también no tuvo efecto el tiempo de mezclado.

En cuanto a los ensayos de DSC se puede decir que las temperaturas de fusión son muy similares, por lo tanto el tiempo de mezclado no influyó mucho en esta transición endotérmica.

Agradecimientos

Al CIATEQ, al aprobar el desarrollo de este proyecto a cargo del Dr. Ranganath Shastri, a la empresa Sol y Agave de Arandas por patrocinar las fibras de agave para las formulaciones de este nuevo compuesto. A mis compañeros Ingenieros Químicos Felipe Robles, Alfonso González, Adriana López, al apoyarme en todo momento del desarrollo del compuesto. A los laboratorios de polímeros, laboratorio de pruebas físicas y químicas de CIATEC de León, Guanajuato. Y al Ing. Sergio Ballesteros de la Unidad CIATEQ Bernardo Quintana, Querétaro.

Referencias

Brown A. Matellanes L. Alvarez A. Momeñe E. Txarroalde JR. Serantes M. Leal JA. y Renté A. 2007. *Disminución del empleo de materiales plásticos a partir de la revalorización del bagazo Cubano*. Revista Iberoamericana de Polímeros. 8 (4): 287-299.

Domínguez MS. González ML. Rosales C. Quiñones C. Delgadillo LS. Mireles SJ. y Pérez BE. 2008. *El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género Agave*. Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 41: 53-62.

IMPI. 2007. Consultado el 23 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.impi.gob.mx>.

QuimiNet (2011). *El polietileno de baja y alta densidad*. Consultada el 28 de Marzo de 2011. Disponible en : http://www.quiminet.com/ar6/ar_hgsAadvczgt-el-polietileno-de-baja-y-alta-densidad.htm

Martínez BD. y Álvarez E. 2006. *Estudio sobre los materiales compuestos reforzados y las*

principales fibras naturales que se utilizan como refuerzo. Cuba: Trabajo hecho para el "COMEC, Universidad Central, "Marta Abreu" De las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Consultado el 20 de septiembre de 2009. Disponible en línea:

<http://eventos.fim.uclv.edu.cu/comec/cd/ponen/c2/c2.51.pdf>

Moreno LE. Trujillo EE. Osorio LR. 2007. *Estudio de las características físicas de haces de fibra de Guadua Angustifolia*. Scientia et Technica. 13 (34): 613-617.

Robledo JR. 2009. *Desechos que producen provecho ¿Cómo utilizar desechos de plásticos y fibras de agave*. México. Coparmex Jalisco. Consultado el 30 de enero de 2011. Disponible en:

<http://www.coparmexjal.org.mx/revistaentorno/articulos/09/04/imp/desechos.html>.

Tapia C. Paredes C. Simbaña A. y Bermúdez J. 2006. *Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa*. ESPOL. 19: 113-119.