

Artículos de la Revista

## EVALUACIÓN MECÁNICA DE BIOPLÁSTICOS SEMIRRÍGIDOS ELABORADOS CON HARINA DE YUCA

## MECHANICAL EVALUATION OF SEMIRRIGID BIOPLASTICS MADE WITH CASSAVA FLOUR

## AVALIAÇÃO MECÂNICA DE BIOPLÁSTICOS SEMI-RÍGIDA PROCESSADOS COM FARINHA DE MANDIOCA

DIANA PAOLA NAVIA P.<sup>1</sup>, HÉCTOR SAMUEL VILLADA C.<sup>2</sup>, ALFREDO ADOLFO AYALA A.<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Se elaboró un material bioplástico semirrígido a partir de harina nativa de yuca de cuatro variedades (MBRA 383, MPER 183, CM 4574-7 y CM 7951-5) incorporando polvillo de fique, mediante la técnica de termo-compresión. El material fue obtenido sometiendo la mezcla de materias primas en un molde y posteriormente comprimiendo a 200°C. La variedad de yuca apropiada para el uso de la harina en el desarrollo del material fue MPER 183, con resultados de resistencia última al esfuerzo de tensión y flexión de  $1,8 \pm 0,2$  MPa y  $3,5 \pm 0,2$  MPa, respectivamente y resistencia al impacto de  $21,2 \pm 0,1$  J/m. Las muestras, moldeadas por compresión, obtenidas en este trabajo son tecnológicamente factibles, y presentan características funcionales favorables como alternativa al uso del poliestireno expandido aplicado en empaques alimentarios.*

---

**Recibido para evaluación:** 30-04-2013. **Aprobado para publicación:** 18-07-2013.

- 1 Magister en Ingeniería de Alimentos, Docente Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura Cali, [dnavia@usbcali.edu.co](mailto:dnavia@usbcali.edu.co)
2. Doctor en Ingeniería de Alimentos, Docente Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. Popayán-Colombia
3. Doctor en Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Docente Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia

**Correspondencia:** [dianapanp@gmail.com](mailto:dianapanp@gmail.com)

## ABSTRACT

*A bioplastic semirigid material was developed from native flour of four cassava varieties (MBRA 383, MPER 183, CM 4574-7 and CM 7951-5), incorporating fique dust, by thermo-compression technique. The material was obtained by subjecting the raw material mixture in a mold and subsequently it was compressed at 200°C. The cassava variety suitable for use in the material development was MPER 183, with results of last tensile and flexural resistance of  $1,8 \text{ MPa} \pm 0,2$  and  $3,5 \pm 0,2 \text{ MPa}$ , respectively, and resistance to impact of  $21,2 \pm 0,1 \text{ J/m}$ . Compression molded samples, obtained in this work are technologically feasible and favorable performance characteristics presented as an alternative to the use of polystyrene foam food packaging applied.*

## RESUMO

*Nós desenvolvemos um material bioplástico semi-rígida a partir de farinha nativo de quatro variedades de mandioca (MBRA 383, MPER 183, CM 4574-7 e CM 7951-5), incorporando poeira fique, por termo-compressão técnica. O material foi obtido submetendo a mistura da matéria-prima num molde em seguida comprimida a 200 °C. A variedade de mandioca adequados para uso no material de farinha desenvolvimento foi MPER 183, com os resultados de resistência última às tensões e de flexão de  $1,8 \pm 0,2 \text{ MPa}$  e  $3,5 \pm 0,2 \text{ MPa}$ , respectivamente, a resistência e a impacto de  $21,2 \pm 0,1 \text{ J/m}$ . As amostras, moldadas por compressão, obtido neste trabalho são as características de desempenho tecnologicamente viáveis e favoráveis apresentadas como uma alternativa para o uso de embalagens de alimentos de espuma de poliestireno.*

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los cambios en los hábitos alimenticios han generado un incremento en el consumo de bebidas y comidas rápidas para las que usualmente se utilizan utensilios como platos, vasos y cubiertos desechables, afectando negativamente el ambiente por el aumento en la cantidad de desechos sólidos dispuestos en el mismo. Existen desarrollos en el sector de materiales biodegradables para menaje en alimentos como los basados en biopolímeros obtenidos por técnicas como moldeo por inyección, moldeo por compresión, los cuales se espera sustituyan dichos productos elaborados a partir de poliestireno o polipropileno, por sus ventajas ambientales [1].

El uso de polímeros a partir de recursos renovables ha generado grandes expectativas en los últimos años, ya que los materiales obtenidos de estas fuentes ofrecen una alternativa para mantener el desarrollo sostenible con tecnologías ecológicamente atractivas. Los materiales biodegradables son aquellos que se descomponen en un periodo de tiempo corto, bajo la acción de microorganismos hasta desaparecer visiblemente. Su característica de biodegradabilidad, generada por las fuentes naturales de las que proceden, es relevante en el campo ambiental. Su disposición y descomposición final evita acumulaciones en los rellenos, contribuyendo a la disminución de

## PALABRAS CLAVE:

Biocompuestos, Bioempaques, Esfuerzo, Elasticidad.

## KEYWORDS:

Biocomposites, Biopackaging, Stress, Elasticity.

## PALAVRAS-CHAVE:

Biocompósitos, Bioembalagens, Esforço, Elasticidade.

la contaminación de los ecosistemas, diferente de los materiales sintéticos como los plásticos provenientes de fuentes fósiles [2, 3, 4].

Además de la biodegradabilidad, otras razones por las cuales dichos materiales han propiciado interés industrial y académico son la conservación de materias primas fósiles, la reducción en el volumen de desechos y compostabilidad natural, así como las posibilidades de uso de recursos agrícolas para la producción de estos materiales [5].

El desempeño, procesabilidad y costos son los mayores desafíos para los polímeros biodegradables para ser efectivos y cumplir las funciones requeridas durante su vida útil y disposición final del producto, donde el empaque plástico basado en petróleo será paulatinamente reemplazado [5].

Este trabajo, contiene la caracterización del comportamiento mecánico de muestras bioplásticas semirígidas obtenidas por la técnica de termo-compresión, con el fin de identificar sus posibles aplicaciones y ofrecer una alternativa para la obtención de materiales de origen biológico con propiedades funcionales específicas.

## MÉTODO

El estudio se desarrolló en materiales biocompuestos obtenidos por termo-compresión, a partir de harina de yuca, polvillo de fique (malla 60 AISI 304) y plastificante (glicerol USP comercial, pureza 99,0%, Sigma-Aldrich). La harina fue obtenida en un molino de martillos (Penagos, TP8) a partir de trozos secos de raíces de yuca de las variedades MPER 183 (MPER), MBRA 383 (MBRA), CM 7951-5 (CM 79), y CM 4574-7 (CM 45) cultivadas en el municipio de Caloto (Cauca, Colombia). El polvillo de fique suministrado por la empresa Empaques del Cauca de Popayán (Cauca, Colombia) fue procesado de la misma forma que la harina.

### Preparación de los Biocompuestos

La harina de yuca (HY) el polvillo de fique (PF) y el glicerol (G) con proporción 60, 25 y 15%, respectivamente, se homogenizaron en una mezcladora industrial (KitchenAid, USA) durante 30 minutos con adición de 60 % de agua (p/p), posteriormente la mezcla fue termo-comprimida (Prensa Plasmega, Colombia) a 200°C durante 3 minutos [5]. De forma similar se elaboraron muestras de los bioplásticos sin polvillo de

fique para establecer la influencia del mismo sobre la evaluación mecánica.

### Evaluación mecánica

Las pruebas de resistencia a la tensión fueron evaluadas de acuerdo a la norma ASTM D638-10. Se determinó el esfuerzo en la rotura ( $s_T$ ) y el modulo elástico (ET) en muestras tipo I, acondicionadas durante diez días a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 1\%$  de humedad relativa previamente a la prueba. Se evaluaron 10 muestras por tratamiento y cada tratamiento se realizó por triplicado.

La resistencia a la flexión se evaluó bajo las especificaciones de la norma ASTM D790-10. Se determinó el esfuerzo en la rotura ( $\sigma_\Phi$ ) y el modulo elástico (EF) en muestras acondicionadas durante diez días a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 1\%$  de humedad relativa previamente a la prueba. Se evaluaron 5 muestras por tratamiento y cada tratamiento se realizó por triplicado.

Para la evaluación de las pruebas de tensión y flexión se utilizó un texturómetro (Shimadzu, EZ Test L, Japón), equipado con una celda de carga de 500 N.

Se evaluó la resistencia al impacto de acuerdo a la norma ASTM D256-10, en un equipo Izod (*Impact Tester* TNI No. 43-1, *Testing Machines Inc*). Se determinó la energía (J/m) de la rotura de la muestra impactada. Se evaluaron 8 muestras por tratamiento y cada tratamiento se realizó por triplicado.

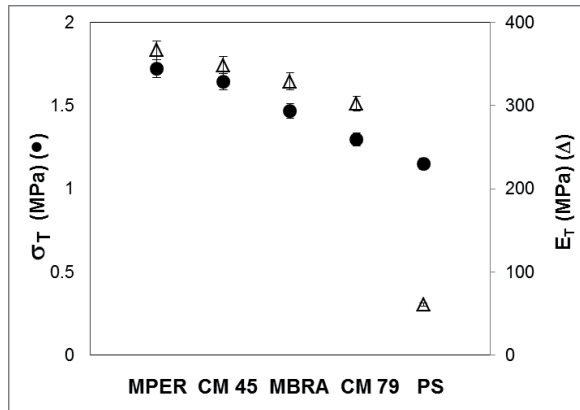
Se empleó un diseño experimental de un factor "variedad de yuca" con cuatro niveles (cuatro variedades de yuca). Los resultados fueron analizados con el programa SPSS versión 20, mediante análisis de varianza (nivel de confianza del 95%) y prueba de tukey para la comparación de medias.

Las muestras de poliestireno expandido usadas como patrón de comparación fueron obtenidas de bandejas comerciales (Darnel®) con las dimensiones requeridas para cada prueba según las normas ASTM empleadas.

## RESULTADOS

### Tensión

La figura 1, muestra que los materiales elaborados con harina de yuca de variedad MPER 183 presentaron mayor  $s_T$  y  $E_T$ , comparado con las otras variedades

**Figura 1.** Propiedades de tensión de los bioplásticos

y la muestra patrón de poliestireno expandido PS. Las muestras de PS presentaron  $E_T$  de 60,4MPa y  $s_T$  de 1,15MPa. En general, las muestras de bioplásticos presentaron valores superiores al patrón de comparación en cuanto a  $s_T$  y  $E_T$ , destacándose la variedad de yuca MPER 183 con 1,75 MPa y 366,7 MPa respectivamente.

Otros estudios mostraron valores de  $E_T$  menores a 250 MPa, en barras moldeadas por compresión elaboradas con almidón termoplástico de papa con glicerol y agua [6]. Los valores promedio de propiedades mecánicas de tensión de los bioplásticos a base de harina de yuca MPER 183 son cercanos a los reportados por Reolón [7], quien evaluó muestras de bandejas moldeadas por compresión a base de almidón de yuca, cal y fibras celulósicas, y encontró valores de  $s_T$  de 1,7 MPa en muestras de 3 mm de espesor con 15% de fibra y comprimidas a 200°C durante 3 minutos; en otro estudio realizado en espumas extruidas a partir de almidón de papa y fibra de coco para uso como material de empaque, se reportaron valores de  $s_T < 1$  MPa [8]. Sin embargo, comparados con otro tipo de compuestos biodegradables, los valores de  $s_T$  y  $E_T$  de las muestras moldeadas basadas en harina de yuca, son bajos. Un estudio en compuestos biodegradables moldeados por compresión a base de Mater-Bi® (mezcla comercial de almidón, celulosa y aditivos) con refuerzos de fibra de sisal, encontró valores de  $s_T$  de 16,8 MPa y  $E_T$  de 2,2 GPa [9].

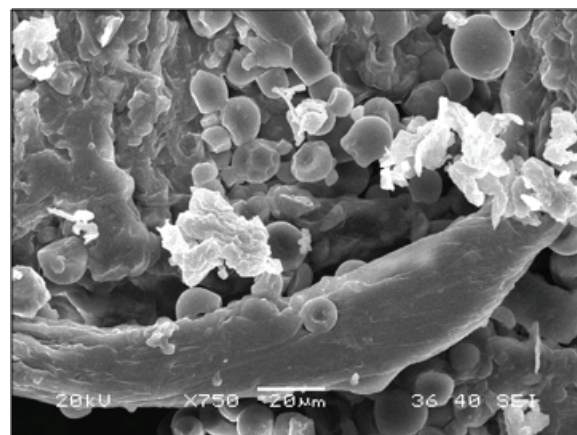
Por otra parte, de acuerdo con Janssen y Moscicki [10], la excesiva expansión y la presencia de poros afecta adversamente los valores de  $s_T$  de los materiales termoplásticos; en las muestras valoradas la

presencia de porosidades se evidencia con las micrografías tomadas con la técnica MEB (Microscopía Electrónica de Barrido), como se aprecia en la figura 2.

En la imagen, se observan grietas y espacios intersticiales en la superficie del material, y también se aprecia una incompleta plastificación de los gránulos de almidón en el material moldeado, lo que pudo influir en la respuesta a la tensión observada. Se ha reportado que los valores más bajos de  $E_T$  fueron obtenidos en muestras extruidas basadas en almidón de maíz por causa de la presencia de poros en los extruidos [10].

Los resultados del análisis de varianza para determinar el efecto de la variedad de yuca sobre la resistencia última de tensión ( $\sigma_T$ ), y módulo de elasticidad ( $E_T$ ) obtenidos tras la tracción de las muestras determinaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las variedades evaluadas y los valores F indicaron que la "variedad de yuca" afectó en mayor medida el  $E_T$  y en menor medida el  $\sigma_T$ .

Se realizaron pruebas de tensión de muestras moldeadas por compresión sin adición de fibra de fique, obteniéndose valores promedio de 1,1 MPa y 164 MPa para  $\sigma_T$  y  $E_T$  respectivamente. La inclusión de fique en la matriz termoplástica de harina de yuca incrementó la resistencia a la tensión en 37,2%, 36,2%, 35,1% y 12,1% y el módulo elástico en 119,7%, 108,7%, 104,1% y 76,5% para las muestras elaboradas con variedades MPER 183, MBRA 383, CM 4574-7 y CM 7951-5, respectivamente. Esto indica que la fibra actúa como refuerzo en la matriz termoplástica, dado el incremento de dichas propiedades mecánicas al ser incorporada como componente en la mezcla. Otro pa-

**Figura 2.** Micrografía MEB de la superficie del bioplástico

rámetro que justifica la cualidad reforzante de la fibra de fique en las muestras valoradas es la razón de proporción o de aspecto "aspect ratio" de la fibra [11], la cual está dada por "L/D" donde "L" es la longitud de la fibra y "D" su diámetro. Los valores de razón de aspecto menores a 10 son indicativos de que la fibra no refuerza el material, sino que actúa como relleno; valores entre 10 y 50 representan un efecto moderado de la fibra al incrementar la resistencia tensil y flexural de la matriz a la que se añaden, y valores superiores a 50 ratifican el incremento significativo de dichas propiedades mecánicas por efecto de la fibra incorporada [12]. De acuerdo con los resultados de la morfometría de fibra de fique realizada por la técnica de microscopía óptica de alta resolución MOAR [5], las fibras con longitud promedio de 860  $\mu\text{m}$  y diámetro promedio de 36,2  $\mu\text{m}$  presentaron razón de aspecto de 23,8, indicando que ejercen un incremento moderado de la resistencia a la tensión y flexión de los bioplásticos basados en harina de yuca termo-comprimidos.

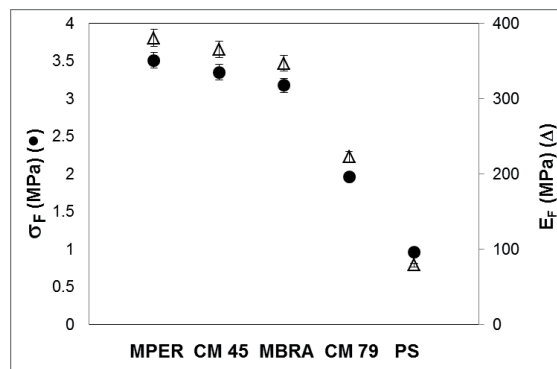
Al incorporar el 25% de fibra a la mezcla para elaborar el bioplástico, se presentó un aumento del 37% en el  $\sigma_T$  y el 105,3% en el  $E_T$ , con respecto a las muestras sin fibra de fique. Este incremento es un indicativo del alto nivel de adhesión entre las fibras de fique y las matriz de harina de yuca plastificada con glicerol y agua, dado su similitud química, la cual favorece el proceso de termoplastificación durante el moldeo por compresión y posteriormente la unión entre los enlaces de hidrógeno. Este fenómeno de compatibilidad en materiales amiláceos reforzados con fibras naturales también se ha reportado en otros estudios [13,14].

### Flexión

En la figura 3 puede notarse que las muestras del tratamiento MPER 183, mostraron un comportamiento superior en cuanto a  $\sigma_F$  (3,5 MPa) y  $E_F$  (380,5 MPa), frente a las muestras fabricadas con harina de las variedades restantes. Se realizaron ensayos de flexión para el patrón de comparación de PS y se encontraron valores de  $E_F$ : 78,9 MPa y  $\sigma_F$ : 0,96 MPa, lo que permite deducir que las muestras objeto de estudio fueron superiores al patrón de comparación.

Algunos investigadores han reportado estudios de propiedades flexurales para espuma de PS comercial ( $E_F$ : 124 MPa;  $\sigma_F$ : 1,6 MPa) y cartón ( $\sigma_F$ : 3,1 MPa) (Shey et al., 2006); al comparar las muestras basadas en harina de yuca éstas fueron superiores en propiedades mecánicas de flexión, dado que  $\sigma_F$  estuvo entre

Figura 3. Propiedades de flexión de los bioplásticos



1,95 y 3,50 MPa y  $E_F$  mostró valores entre 222 y 380 MPa. Estos mismos investigadores reportaron similar comportamiento en materiales basados en almidón de papa, trigo y maíz elaborados por moldeo compresión, en condiciones similares de acondicionamiento, con valores de  $E_F$  entre 64 y 225 MPa y  $\sigma_F$  entre 1,45 y 3,7 MPa [15]; y Aguilar y otros autores [8], reportaron valores de  $E_F$  entre 14 y 351 MPa en materiales amiláceos obtenidos por extrusión reforzados con fibra de coco.

Adicionalmente se realizaron ensayos de flexión en muestras elaboradas sin adición de fibra de fique, resultados que validan el efecto de refuerzo que está ejerciendo la fibra en las muestras evaluadas, ya que al incorporarla, la resistencia  $\sigma_F$  incrementó en 115,2%, 105,5%, 94,8% y 20,2% y el módulo elástico y  $E_F$  en 99,2%, 91,1%, 81,6% y 16,6% para las muestras con harina de variedades MPER 183, CM 4574-7, MBRA 383 y CM 7951-5, respectivamente.

Sin embargo, los valores más altos de propiedades mecánicas flexurales obtenidos en el presente trabajo en muestras manufacturadas con harina de variedad de yuca MPER 183, son inferiores comparados con otros materiales con aplicaciones similares como espumas biodegradables con 10% de humedad obtenidas por curado a partir de almidón de yuca reforzadas con fibra de yute, en las que el  $\sigma_F$  en muestras con 1% y 10% de contenido de fibra estuvo entre 3 y 3,5 MPa, y entre 6,5 y 7 MPa respectivamente, siendo  $L/D=28,8$ ; conjuntamente, cuando  $L/D$  aumentó a 287,5 el  $\sigma_F$  en muestras con contenido de 10% de fibra resultó por encima de 10 MPa [16]. En otro estudio de compuestos biodegradables elaborados por moldeo compresión reforzados con fibras de sisal se obtuvieron valores de  $E_F$ : 2,8 GPa al incorporar 15% de fibra [9].

El análisis de varianza indico que la “Variedad de Yuca” afectó significativamente ( $p < 0,05$ ) el  $\sigma_F$  y  $E_F$  obtenidos en la prueba de flexión de las muestras moldeadas por compresión, evidenciándose el mayor efecto sobre  $\sigma_F$  y menor sobre  $E_F$ .

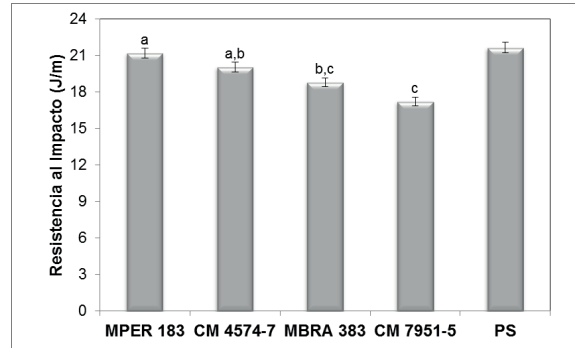
### Impacto

La figura 4 muestra que las probetas elaboradas con harina de la variedad de yuca MPER 183, fueron las que mayor Resistencia al Impacto (RI) presentaron, mientras las elaboradas con harina de CM 7951-5 fueron las de RI más bajo. A diferencia de las pruebas de tensión y flexión, los ensayos de impacto son ensayos de rotura a elevada velocidad en los que se aplica a una probeta de material una cantidad de energía de forma puntual con el fin de provocar su ruptura, determinándose la energía necesaria para ello [17, 18].

En los ensayos de tensión, las velocidades de deformación son muy lentas, por lo que las moléculas de la muestra polimérica tienen la oportunidad de deslizarse sus cadenas entre sí, logrando altos niveles de deformación; en la prueba de impacto, la velocidad de deformación es extremadamente rápida, por lo que el tiempo es insuficiente para que estos mecanismos ocurran y la muestra se fractura de forma instantánea reflejando la fragilidad de la muestra [19].

Las muestras basadas en harina de yuca presentaron valores superiores frente a compuestos no biodegradables elaborados por curado a partir de resina epóxica reforzados con fibra de sisal y vidrio cuya RI estuvo entre 10 y 12.8 J/m [20]. De forma similar, los bioplásticos elaborados con harina de yuca presentaron valores de impacto más altos que materiales curados a base de resina epóxica y aceite epoxidizado de soya cuyo RI fue de 16 y 20 J/m y compuestos biodegradables obtenidos por inyección-moldeo a partir de MaterBi® reforzados con cañamiza (subproducto industria caña) con valores de RI entre 8,7 y 18,6 J/m [21]. Otro estudio realizado en muestras de resina de poliéster reforzadas con fibra de rastrojo de piña, reportó valores de RI de 8 J/m [18]. La literatura reporta que los valores de RI están muy influenciados por la elección fibra/matriz [22, 23]. Los valores presentados en la figura 4 reflejan una alta adherencia entre los componentes de la mezcla: fibras y matriz termoplástica, evidenciando la respuesta más alta para las muestras elaboradas con harina de variedad MPER 183. Usualmente, los compuestos reforzados con fibras presentan alta resistencia al impacto, debido a

Figura 4. Resistencia al “impacto izod” de los bioplásticos



Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

que los altos pesos moleculares del polímero generan entrelazamientos entre sus cadenas, por lo tanto, su movilidad relativa se reduce y la adherencia entre la fibra y la matriz polimérica aumenta, y esto, a su vez aumenta la capacidad de absorción de energía de los compuestos [24].

Para comprobar el efecto de la adición de fibra en las propiedades de impacto de las muestras, se realizaron ensayos con muestras sin adición de fibra, determinando que efectivamente la adición de fibra incrementó en 23,5% la RI de las muestras valoradas. Sin embargo, frente al patrón de PS, las muestras con fibra evidenciaron una disminución del 2,12% en la RI, lo cual se justifica por la gran cantidad de aire presente dentro de la matriz del PS expandido versus el material basado en harina de yuca, ya que el aire actúa como “amortiguador” en el material, incrementando la cantidad de energía requerida para impactar la muestra del mismo.

El análisis de varianza mostró que el factor “Variedad de Yuca” afectó significativamente ( $p < 0,05$ ) la RI de las muestras moldeadas por compresión.

### CONCLUSIONES

Las muestras moldeadas por compresión elaboradas con harina de variedad de yuca MPER 183 presentaron valores más altos en propiedades de tensión, flexión y resistencia al impacto, frente a las elaboradas con harina de las variedades MBRA 383, CM 4574-7, CM 7951-5, siendo esta última la que presentó las propiedades más bajas.

Se evidenció un incremento en las propiedades mecánicas de tensión, flexión e impacto con la incorporación de fibra de fique a la matriz termoplástica de harina de yuca en los bioplásticos elaborados con las cuatro variedades de yuca. De igual forma, las muestras con fibra presentaron mayores valores en la evaluación mecánica comparadas con el patrón de PS, favoreciendo consecuentemente sus propiedades técnicas y funcionales para sus posibles aplicaciones agroindustriales, como los empaques tipo bandeja, vasos y recipientes cuyo soporte mecánico sea similar al del PS; también podría evaluarse su uso como recipiente para el cultivo de plántulas en el sector hortofrutícola.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Universidad del Cauca por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

## REFERENCIAS

- [1] RAZZA, F., FIESCHI, M., INNOCENTI, F. and BASTIOLI, C. Compostable cutlery and waste management: An LCA approach. *Waste Manage*, 29 (4), 2009, p. 1424–1433.
- [2] TUNJANO, V., SALCEDO, F., JIMÉNEZ, I., MEDINA, J., ALVAREZ, O. y PRIETO, E. Estudio de las propiedades térmicas y mecánicas del almidón termoplástico (TPS) reforzado con nanoarcilla. *Revista latinoamericana de metalurgia y materiales*. S1, 2009, p. 29-36.
- [3] BEHERA, AK., AVANCHA, S., SEN, R. and ADHIKARI, B. Development and Characterization of Plasticized Starch-Based Biocomposites with Soy Pulp as Reinforcement Filler. *Journal of Applied Polymer Science*, 127 (6), 2013, p. 4681–4687.
- [4] JANSSEN, L. and MOSCICKI, L. *Thermoplastic Starch*. Weinheim (Germany): Wiley VCH, 2010, 242 p.
- [5] NAVIA, D. Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique [Tesis de Maestría]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, 2011, 124 p.
- [6] HULLEMAN, S., KALISVAART, M., JANSSEN, F., FEIL, H. and VLIEGENTHART, J. Origins of  $\beta$ -type crystallinity in glycerol-plasticized, compression moulded potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 39 (4), 1999, p. 351–360.
- [7] REOLON, V. Desenvolvimento de bandejas biodegradáveis a partir da fécula de mandioca, calcário e fibra de cellulose [Tesis de maestría]. Florianópolis (Brasil): Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2006, 76 p.
- [8] AGUILAR, E., ZAZUETA, J., JIMÉNEZ, O. and MARTÍNEZ, F. Mechanical and structural properties of expanded extrudates produced from blends of native starches and natural fibers of henequen and coconut. *Starch – Stärke*, 59 (11), 2007, p. 533-542.
- [9] ALVAREZ, V., RUSCEKAITE, R. and VAZQUEZ, A. Mechanical properties and water absorption behavior of composites made from a biodegradable matrix and alkaline-treated sisal fibers. *Journal of Composite Materials*, 37 (17), 2003, p. 1575-1588.
- [10] JANSSEN, L. and MOSCICKI, L. *Thermoplastic starch*. 1 ed. Weinheim (Germany): Wiley-VCH, 2010, 242 p.
- [11] KALAITZIDOU, K., FUKUSHIMA, H., MIYAGAWA, H. and DRZAL, L. Flexural and tensile moduli of polypropylene nanocomposites and comparison of experimental data to halpin-tsai and tandonweng models. *Polymer Engineering and Science*, 47 (11), 2007, p. 1796-1803.
- [12] Termoplásticos: Composites de alto desempeño [online]. Available: <http://www.todoenplastico.com> [citado 16 Mar 2011].
- [13] SAIHAH, R., SREEKUMAR, P., GOPALAKRISHNAN, P., LEBLANC, N., GATTIN, R. and SAITER, J. Fabrication and Characterization of 100% Green Composite: Thermoplastic Based on Wheat Flour reinforced by Flax Fibers. *Polymer Composites*, 30 (11), 2009, p. 1595-1600.
- [14] LUNA, G., VILLADA, H. y VELASCO, R. Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. *Dyna*, 76(159), 2009, p. 145-151.
- [15] SHEY, J., IMAM, S., GLENN, G. and ORTS, W. Properties of baked starch foam with natural rubber latex. *Industrial Crops and Products*, 24 (1), 2006, p. 34-40.
- [16] SOYKEABKAEW, N., SUPAPHOI, P. and RUJIRAVANIT, R. Preparation and characterization of jute- and flax-reinforced starch-based composite foams. *Carbohydrate Polymers*, 58 (1), 2004, p. 53-63.
- [17] COLLAR, E.P. Propiedades y ensayo de los materiales plásticos. *Revista de Plásticos Modernos*, 475 (32), 1996, p. 32-41.
- [18] QUESADA, K., ALVARADO, P., SIBAJA, R. y VEGA, J. Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad *champaka*)

- como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6 (2), 2005, p. 157-179.
- [19] ASKELAND, D. and PHULÉ, P. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 4 ed. Ciudad de México (México): International Thomson Editores S.A., 2004, 1005 p.
- [20] ASHOK, M., RAMACHANDRA, G., SIVA, Y., VENKATA, S., NAGA, V. Frictional coefficient, hardness, impact strength, and chemical resistance of reinforced sisal-glass fiber epoxy hybrid composites. *Journal of Composite Materials*, 44 (26), 2010, p. 3195-3202.
- [21] MUTJÉ, P., MÉNDEZ, J.A., VILASECA, F., LÓPEZ, J.P., FLANDEZ, J., BARBERÀ, L., PÉREZ, I., y PÉLACH, M.A. Utilización de residuos industriales de la producción de filamento de cáñamo como refuerzo de matrices poliméricas biodegradables. *Memorias I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Castellón (España): 2008, 9 p.
- [22] PLACKETT, D., LØGSTRUP, T., BATSBERG, W. and NIELSEN, L. Biodegradable composites based on l-poly lactide and jute fibres. *Composites Science and Technology*, 63 (9), 2003, p. 1287-1296.
- [23] YU, T., LI, Y. and REN, J. Preparation and properties of short natural fiber reinforced poly(lactic acid) composites. *Transactions of Nonferrous Metal Society of China*, 19 (3), 2009, p. s651-s655.
- [24] SRINIVASA, C., ARIFULLA, A., GOUTHAM, N., SANTHOSH, T., JAEETHENDRA, H., RAVIKUMAR, R., ANIL, S., SANTHOSH, D. and ASHISH, J. Static bending and impact behaviour of areca fibers composites. *Materials Design*, 32 (4), 2011, p. 2469-2475.