

# COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE COMPUESTOS EN BASE DE POLIPROPILENO EN MEZCLA CON DIVERSOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL ECUADOR

Tapia Clotario<sup>1</sup>, Paredes Cecilia<sup>2</sup>, Correa Carlos<sup>3</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral, Casilla 09-01-5863  
vtapia@espol.edu.ec, cparedes@espol.edu.ec

## RESUMEN

El desarrollo de los llamados Wood Plastic Composites (WPC) en los últimos cinco años ha sido vertiginoso, presentando una alternativa eficiente a los tradicionales refuerzos minerales como el  $\text{CaCO}_3$  en los compuestos en base termoplástica. Al ser Ecuador un país con una economía fuertemente dependiente del desarrollo agrícola, es importante el plantear alternativas para la explotación sustentable de su suelo. En el siguiente trabajo se presenta ensayos realizados a residuos agroindustriales como fibra de coco, raquis de palma africana, bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz en mezcla con polipropileno, por medio del proceso de extrusión e inyección. La influencia de los residuos agroindustriales en el polipropileno es medida a través de los ensayos mecánicos teniendo en cuenta las condiciones de entrada tanto de la resina como de las fibras. Resulta interesante el comportamiento del compuesto fibra-polímero resultante, dada la variabilidad de los resultados posterior al ensayo de los cuerpos de prueba en la máquina de ensayos universales.

**Palabras clave:** Polipropileno, residuo agroindustrial, Wood Plastic Composite WPC's, ensayos mecánicos.

## INTRODUCCIÓN:

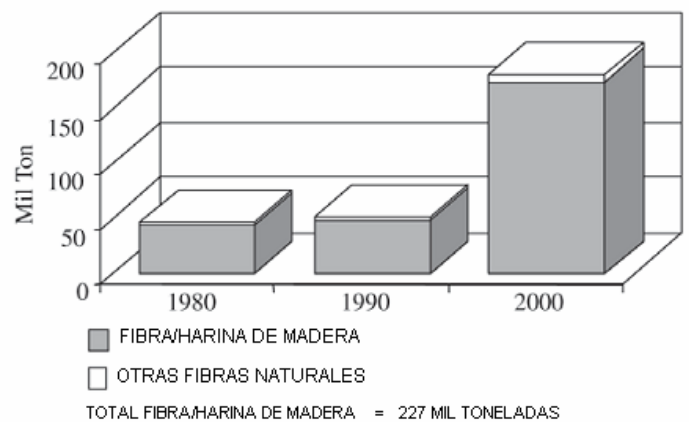
Es conocido que desde los años 70 se han sumando esfuerzos para desarrollar compuestos termoplásticos con residuos de madera que sean amigables con el ecosistema; siempre estos productos han sido enfocados al ámbito industrial. Sin embargo en nuestro país han sido nulos los proyectos industriales desarrollados en este sentido, a pesar que desde siempre Ecuador se ha caracterizado por su producción agrícola y la bondad de su suelo.

La adecuada disposición de los residuos del sector agroindustrial ecuatoriano se ha convertido en una gran problemática; no es nada extraño observar en las carreteras de nuestro país cómo los residuos agroindustriales son absurdamente desperdiciados inmediatamente después de su extracción primaria, ejemplos claros de esta mala administración del suelo son las cascarilla de arroz, el coco y la palma africana, objeto de nuestro estudio; siendo un caso especial el bagazo de caña de azúcar que es utilizado para la generación de energía eléctrica por los más grandes ingenios azucareros.

Pos sus características los llamados compuestos termoplástico-celulósicos, WPC's pos sus siglas en inglés, se convierten en una alternativa para la utilización de los residuos agroindustriales generando productos de valor agregado a partir de residuos que de otra manera

pasarían a formar parte de los botaderos de basura. Estos compuestos son básicamente el resultado de la combinación de materiales termoplásticos como el polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), el polipropileno (PP) o el cloruro de polivinilo (PVC) con diversos productos de madera o materiales lignocelulósicos diversos. (3,4,5,6)

En Estados Unidos y Europa los WPC's forman parte de un sector de gran crecimiento, dadas sus excelentes propiedades y la posibilidad de reutilizar los residuos de una poderosa industria maderera. Los requerimientos de polvo de madera y otros residuos lignocelulósicos para su utilización en WPC's se ha triplicado en la última década, como muestra la figura 1.



**FIGURA 1.** Crecimiento de la demanda de fibras naturales para uso en compuestos en EUA 2000 (1)

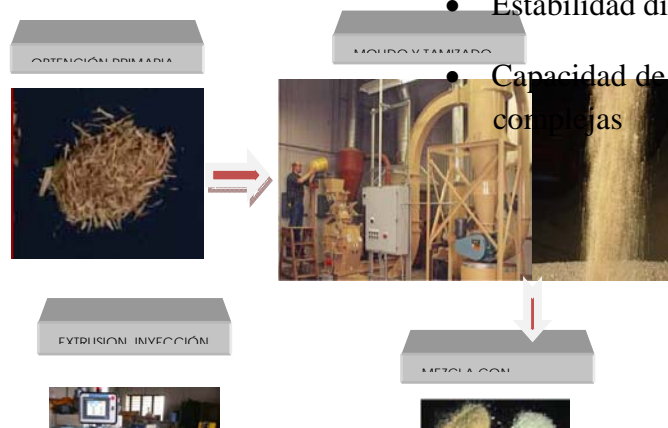
## TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

En el desarrollo de los WPC's se deben de tener en cuenta varios aspectos para la obtención de buenas propiedades mecánicas. La humedad es un factor preponderante, dado que los WPC's son producidos a partir de procesos de extrusión o inyección, pues durante su procesamiento existe la formación de vapor de agua y si el porcentaje de agua es excesivo, mayor al 2% en peso, existen daños en los productos finales como deformidades o manchas superficiales.

Otro aspecto bastante importante es el tamaño de la fibra, la granulometría de la fibra ha demostrado ser gran importancia durante el procesamiento de los WPC's; ya que si el tamaño de la fibra es muy grande actuaría como una inclusión en la matriz polimérica dando lugar a un punto débil, mecánicamente hablando, en el compuesto, promoviendo la propagación de fallas.

La temperatura de procesamiento es también un limitante, no se puede sobrepasar la franja de los 200 a 220°C, ya que pasado este punto, los materiales lignocelulósicos se empiezan a degradar, promovándose la separación de la lignina con los consecuentes cambios sobre el compuesto como liberación de olores, fragilidad, entre otros.

Una vez detalladas estas limitantes podemos decir que básicamente la producción de WPC's se reduce a los siguientes 4 pasos:



**FIGURA 2.** Esquema de procesamiento de WPC's

Existen cuatro tipos de procesos para la fabricación de WPC's y en todos de debe de realizar de alguna manera los pasos esquemáticos que se muestran en la figura 2, y la diferencia radica en cómo, cuándo y dónde se hace el secado de la fibra y el mezclado con el polímero. En la Tabla 1 se describe brevemente los procesos:

**PROPIEDADES:**

No en vano la utilización de los WPC's han tenido una gran aceptación en el mercado americano en los últimos cinco años [1,2], ya que presenta ventajas innegables, entre ellas:

- Resistencia a la humedad
- Resistencia a insectos
- Estabilidad dimensional
- Capacidad de ser extruidos en formas complejas

- Gran durabilidad en ambientes marinos
- Totalmente reciclables
- Tienen apariencia a madera
- Requieren bajo mantenimiento una vez utilizados

Pero así mismo poseen ciertas desventajas, entre las que podemos citar:

- Costos altos de transporte de materia prima
- No se pueden pintar
- Menor resistencia estructural que la madera dura

**TABLA 1. PROCESOS INDUSTRIALES PARA OBTENCIÓN DE WPC's**

<b>PROCESO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ADICIONALES</b>
Pre dry- Pre	La fibra celulósica es secada previamente y es mezclada junto al polímero en mezcladores tipo Henschel antes de entrar a la extrusora	La humedad de la fibra debe ser menor a 1%  Muy utilizada en polímeros de baja estabilidad térmica como PVC.  La extrusora es de doble tornillo contrarotante  Muy usado.
Pre dry – Split Feed	La fibra es presecada e ingresada al inicio del tornillo. Mientras el polímero es adicionado por separado por la entrada lateral de la extrusora.	Mejor control del tiempo de permanencia de la fibra.  La mezcla fibra-resina pasa por zonas de mezcla y gasificación para obtener buena dispersión.

		<p>La extrusora es de doble tornillo contrarotante</p> <p>Muy usado</p>
Wood First – Melt Feed	Se requiere dos extrusoras, una para el secado de la resina y otra, más pequeña, para fundir y mezclar el polímero con los aditivos, que luego se introducen en la primera.	No hay control de la humedad fibra.
Wood First – Split Feed	La fibra puede ser introducida húmeda y el polímero se lo introduce luego de manera similar al proceso Pre Dry – Split Feed	<p>No hay buen control de la humedad de la fibra.</p> <p>Las extrusoras deben de tener la relación Largo del Barril a diámetro grande (L/D 44).</p> <p>Las zonas de gasificación deben ser próximas a la entrada. La humedad no siempre se puede eliminar.</p>

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:**

### *MATERIALES*

Primeramente se hizo la recolección de las muestras en la costa ecuatoriana: se recolectaron alrededor de 10 Kg de cascarilla de arroz, a la altura de del Km 8 vía Durán-Tambo, siendo este sector una de las más grandes y prosperas zonas arroceras del país. Alrededor de 20 Kg de raquis de palma africana fueron recolectados en la vía Santo Domingo-La Concordia, este residuo es el resultado de la extracción de aceite de palma africana. Así mismo, el mesodermo del coco, es decir la parte fibrosa, que resulta del consumo del fruto de coco, fue recolectado en el cantón La Concordia. El bagazo de

caña de azúcar fue proporcionado por el Ingenio del Norte (IANCEM), en la provincia de Imbabura, alrededor de 20 Kg. de este residuo fueron suministrados para el desarrollo de este proyecto.

Cabe destacar que la cascarilla de arroz y la fibra de coco son residuos que no tienen aplicación alguna en este momento en nuestro país, al punto de estar totalmente desperdiciados en las carreteras de los respectivos sectores. El raquis de palma y el bagazo sí tienen una explotación en sus respectivas industrias como combustible para el funcionamiento de las mismas.

El polipropileno utilizado fue uno del tipo Prolen, suministrado por PoliBrasil. Las

aplicaciones para las cuales es recomendado son: film, y estructuras monocapa o coextruidas

### *EQUIPOS*

- *Molino de reducción primaria.-*

Se utilizó un molino tipo Wiley marca Seibt modelo MGHS6/230. Este equipo es diseñado para reciclaje de productos en general, posee dos cuchillas fijas y tres móviles en el tambor rotatorio, este tambor gira a 1720 rpm. La malla que utilizamos es de 5 mm., lo que permite que las muestras molidas con este molino resulten con esta media en tamaño. Trabaja con 220 V y consume una potencia de 6 HP.



**FIGURA 3.** Molino tipo Wiley de reducción primaria

- *Molino de reducción final.-*

Es un molino de similares características al anterior pero con la diferencia del tamaño en las mallas y las cuchillas. Este molino posee 4 cuchillas móviles y 4 fijas y la malla utilizada es de de 1 mm. De marca Marconi, modelo 680, está diseñado para manejar poco volumen, pero con la capacidad de reducción de granulometría mayor.



**FIGURA 4.** Molino tipo Wiley de reducción final

- *Estufa de resistencias con aire recirculante.*

Se utilizó un horno de fabricación brasileña, marca Marconi, modelo MA 035. Es un equipo diseñado para secar productos vegetales con aplicación moderada de temperatura, para no dañar las propiedades de los productos orgánicos durante el secado; es un proceso mejorado debido a la recirculación y renovación de aire. El control de temperatura es electrónico con indicador digital y precisión de  $\pm 1,0$  °C. El rango de operación de temperatura es desde la temperatura ambiente más 7°C a 200 °C.



**FIGURA 5.** Estufa de aire recirculante

- *Balanza Electrónica*

Para el peso de muestras y el polímero previo y posterior a la mezcla, se utilizó una balanza electrónica marca Lilizola, modelo BP-15, capacidad máxima de 15 Kg. con una sensibilidad de  $\pm 0.5$  g.



**FIGURA 6.** Balanza electrónica

- Extrusora de doble tornillo contrarrotante

Se utilizó una extrusora de doble tornillo contrarrotante marca Krupp. Werner & Pfleiderer, modelo ZSK-25. En esta extrusora se realizaron todas las mezclas para la obtención de los “tallarines” que formaron los pellets a usar en el siguiente paso.



**FIGURA 7.** Extrusora de doble tornillo

- Inyectora

La inyectora que se utilizó para formar las probetas fue Semeraro Sandreto, modelo Micro 65, con

capacidad de inyección de hasta 76 cm<sup>3</sup>/ s y volumen máximo de inyección de 129 cm<sup>3</sup>.



**FIGURA 8.** Inyectora

- Máquina de ensayos universales

Se utilizó una máquina de ensayos universales marca EMIC, modelo DL 3000, equipada con celda de carga de 30KN para y con la capacidad de intercambiar con otras de mayor o menor capacidad. Se realiza el cambio de la celda de carga para aumentar la resolución del instrumento dependiendo de los rangos máximos esperados.



**FIGURA 9.** Máquina de ensayos universales

## METODOS

En el desarrollo de este trabajo se utilizó el proceso Pre Dry – Pre – Mix, por lo que el secado y la mezcla se la hace previo al ingreso a la extrusora. El procedimiento experimental es similar al detallado en la figura 2.

Una vez que se obtienen las fibras, se debe de realizar la reducción de tamaño de las mismas. Primeramente se lo hace en el molino de reducción primaria, el resultado de este molido es luego pasado al molino de reducción final para obtener fibras de tamaño de alrededor de 1 mm.

El producto obtenido es luego colocado en la estufa de aire recirculante a  $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, para eliminar toda la humedad de las fibras. Paralelamente el polipropileno es también colocado en la estufa para eliminar humedad adquirida del medio ambiente.



**FIGURA 10.** Molido de raquis de africana 1mm

Luego se realiza la mezcla del polipropileno con las fibras. En este trabajo se fijó el porcentaje de fibra en 30%, por lo que las cantidades de fibra y polímero se pesaron de acuerdo a esta proporción. La mezcla se la hizo manualmente, promoviendo la uniformidad de la misma.

Una vez que la mezcla fibra-resina está acorde a lo establecido, se inicia el proceso de extrusión. En este punto, es necesario recalcar que en el desarrollo de este trabajo se utilizó una extrusora de doble tornillo contrarrotante, la cual es el sistema más ampliamente aceptado por los fabricantes de renombre, pues promueve una mezcla

uniforme de la mezcla, durante la formación del compuesto.

Una vez obtenidos los pellets, se hace el ingreso de los mismos a la inyectora, para poder obtener las probetas que serán ensayadas mecánicamente.



**FIGURA 11.** a) Extrusora de doble tornillo. b) Peletizadora



**FIGURA 12.** Pellets de cascarilla de arroz y PP

En la máquina de ensayos universales se realizaron las siguientes pruebas:

**TABLA 2.** Normas utilizadas en los ensayos mecánicos

ENSAYO MECÁNICO	NORMA
Tensión	ASTM D 638
Flexión	ASTM D 790
Impacto	ASTM D 256



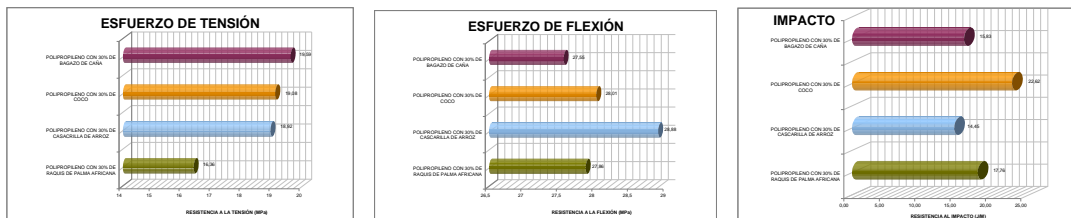
Para cada una de la pruebas se obtuvieron 5 cuerpos de prueba para poder obtener la media para cada uno de los compuestos.



**FIGURA 13.-** Probetas de tensión de tres compuestos diferentes.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS:

En la figura 14 se puede observar el comportamiento de los compuestos bajo la acción de tres ensayos mecánicos



**FIGURA 14.-** Comparación entre las distintas propiedades a los compuestos desarrollados

En el ensayo de tensión el compuesto de bagazo de caña de azúcar presentó los mejores resultados (19.59 MPa), mientras que el compuesto de raquis de palma africana fue el más bajo (16.36 MPa). Como se puede observar la variación de alrededor del 15% aunque la desviación estándar entre los cuatro compuestos es relativamente baja de 1.44.

El ensayo de flexión fue más parejo, siendo el de cascarilla de arroz el mejor compuesto (28.88 MPa) y, a diferencia del primer ensayo, el bagazo de caña el valor más bajo (27.55 MPa). La desviación estándar de este ensayo fue de apenas 0.56.

En lo que respecta al ensayo de impacto Izod, el mejor resultado se presentó con la fibra de coco (22.62 J/m) y el compuesto más bajo fue el correspondiente al

compuesto de cascarilla de arroz (14.45 J/m). La variación de este ensayo es la más alta de los tres practicados 3.57.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Al comparar los valores obtenidos de los ensayos de tensión con los valores estándar del Polipropileno virgen sin mezclar (14.3 MPa), podemos concluir que el refuerzo de fibra aumenta el Esfuerzo de Tensión. Siendo el compuesto de Bagazo de caña mejor en un 27%.
- En lo que respecta a los ensayos de impacto hubo un decrecimiento en la capacidad de absorber energía, al compararlo con los estándares (37 J/m). Esto es consistente, dada la

noción de que la fibra cambia la constitución del material, por lo que un material totalmente sólido (una fase) absorbe más energía que uno compuesto. Se deben de hacer más estudios al respecto como, la adhesión interparticular y los procesos que sufren las fibras durante el ensayo de las probetas. Así como también variar los porcentajes de fibras, para poder comparar el efecto del relleno sobre el material.

- Dadas las características de los compuestos desarrollados, podemos notar la viabilidad de utilizar residuos agroindustriales que en este momento están siendo desperdiciados en nuestro país.
- En este trabajo no se ha hecho ninguna modificación a la resina termoplástica con compatibilizadores para aumentar la capacidad de enlace entre el refuerzo y matriz. Es importante tomar en cuenta que con la adición de estos agentes químicos la respuesta mecánica de los compuestos es superior, dicho estudio será estudiado por los autores en un futuro cercano como parte del desarrollo de una tesis de grado en la Facultad de Ingeniería en mecánica y Ciencias de la Producción.
- Es importante recalcar que los residuos de coco y la cascarilla de arroz presentan buenas propiedades mecánicas, siendo esta una alternativa rentable para los agroindustriales; ya que se podrían generar productos con valor agregado con residuos que en

este momento representan costos para ellos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Eckert, C.H. "Market Opportunities for natural fibres in plastics composites", in: Proceedings of the Wood-Plastic Conference, p. 87-106, Baltimore, USA (2000).
2. Stark, N.; Scheneider, J.P. "Waste-Wood-Derived Fillers for Plastics", in: General Technical Report FPL-GTR- 91, Forest Product Laboratory/USDA, USA, 1996.
3. Gilson S. Martins, Marco A. Iozzi."Caracterização Mecânica e Térmica de Compósitos de Poli (Cloro de Vinila) Reforçados com Fibras de Sisal" Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, n° 5, p. 326-333, 2004
4. Claudia M. C. Bonelli, A. Elzubair, João C. Miguez Suarez "Comportamento Térmico, Mecânico e Morfológico de Compósitos de Polietileno de Alta Densidade Reciclado com Fibra de Piaçava" Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 15, n° 4, p. 256-260, 2005
5. Emerson Gomes Milagres, et al. "Compósitos de partículas de madeira de eucalyptus grandis polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades" R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.463-470, 2006.
6. Carlos A. Correa, Carla N.P. Fonseca, Silmara Neves.

“Compósitos Termoplásticos com  
Madeira” Polímeros: Ciência e

Tecnologia, vol. 13, nº 3, p. 154-165,  
2003