CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA BANANERA EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA

Luis Santiago París Londoño[1], *Sandra Milena González Villa*[1]

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (4): 1453-1460

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA BANANERA EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA

Luis Santiago París Londoño[1], *Sandra Milena González Villa*[1]

1: Dpto. de Ingeniería de Producción, Grupo de Investigación en Materiales de Ingeniería. Línea Reciclaje de Materiales Poliméricos, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia

** E-mail: lparis@eafit.edu.co , sgonzal5@eafit.edu.co*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008

Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

El presente documento hace referencia a los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera (Polietileno de Baja Densidad, y Polipropileno), los cuales se emplean para la elaboración de madera plástica. La caracterización de estos polímeros reciclados determina la importancia que esta tiene como paso inicial en el proceso productivo que impacta directamente las propiedades físico - mecánicas finales del producto.

En este documento se presenta el estudio y caracterización de esta materia prima, para identificar y definir los componentes, mezclas y proporciones para obtener productos con buenas propiedades.

Palabras Claves: *Reciclaje de plásticos/ Madera plástica/ Mezclas poliméricas/ Polietileno de baja densidad/ Polipropileno/*

Abstract

This document refers to recycled plastics materials from the banana industry (low density polyethylene and polypropylene), which are used for the manufacture of plastic lumber. The characterization of these recycled polymers determines the importance that this is an initial step in the production process which directly affects the physical and mechanical properties the final product.

This document presents the study and characterization of this raw material, to identify and define the components, blends and proportions to obtain products with good properties.

Keywords*: Recycled Plastics Materials/ Plastic Lumber/ Polymers Blends/ Low Density Polyethylene/ Polypropylene/*

1. INTRODUCCION

Durante el año 2007, el Grupo de Investigación en Materiales de Ingeniería desarrolló un proyecto de investigación de análisis de materiales reciclados post -consumo como el polipropileno y el polietileno de baja densidad en la fabricación de madera plástica.

Colombia se caracteriza por tener plantas de manufactura del polipropileno (Cartagena) y del Polietileno de Baja Densidad (Barrancabermeja), con capacidades instaladas aproximadas de 300 y 50 millones de toneladas respectivamente, y adicionalmente presenta un consumo aparente de 170 mil toneladas de polipropileno y de 92 mil toneladas de polietileno de baja densidad, lo cual genera similares proporciones desechos de estos materiales[1].

Una vez que los plásticos han cumplido la misión para la cual fueron fabricados, es decir, han finalizado su vida útil, son desechados y pasan a ser parte del conjunto de residuos, generando frecuentemente caos por una inadecuada disposición final de ellos.

Las zonas bananeras no son ajenas a esta situación, por tal motivo se genera la necesidad de recolectar los desechos plásticos en forma de rafia, películas plásticas y otros, ubicadas en los suelos productivos.

En el presente estudio se emplearon los materiales plásticos reciclados provenientes de Cultivos Bananeros y se analizron las mezclas entre

materiales reciclados post – consumo Polietileno de Baja Densidad y Polipropileno con cargas (carbonatos de calcio) [2].

La caracterización fisica de los polímeros reciclados utilizados como materia prima en la elaboración de la "Madera Plástica" determina la importancia que está tiene como etapa inicial en el proceso productivo que afecta directamente las propiedades físico - mecánicas finales del producto.

Se debe tener en cuenta que los plásticos presentan degradación en cada proceso y ese deterioro se hace más evidente en el largo plazo, por el cambio en sus características mecánicas. Como consecuencia, generalmente es difícil reciclar el material con el fin de fabricar el mismo artículo del cual proviene.

Se realizaron pruebas de granulometría para observar la distribución de las partículas, pruebas de densidades [3], Medición del Índice de Fluidez (MFI) [4] y finalmente pruebas de Tensión, Flexión y Compresión [5].

2. LOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA BANANERA

Durante los últimos años la conciencia ambiental ha sido un tema sujeto a discusiones en foros internacionales de Comercio, en donde se evidencia el incremento significativo del interés de los consumidores de países desarrollados por alimentos libres de agroquímicos provenientes de procesos de producción limpios y amigables con el medio ambiente.

El banano ha sido una de las frutas frescas más comercializadas en el ámbito mundial. Agricolamente en Colombia ocupa uno de los primeros lugares al lado del café, la caña de azúcar, las flores y la palma africana.

La agroindustria bananera Colombiana genera empleo y divisas para el país y es esencial para el desarrollo Nacional. Con más de 70 años en el departamento del Magdalena y más de 40 en el Urabá antioqueño, ha comprobado que su aporte al desarrollo social contribuye a crear y sostener otras empresas de bienes y servicios que benefician sociedades[6].

En Colombia existen grandes cultivos bananeros, los cuales deben protegerse de los posibles daños por hongos y plagas durante el transporte, embalaje y distribución de la fruta.

3. RECICLAJE DE DESECHOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA BANANERA

Desde la década de 1970, las fincas bananeras han dispuesto los desechos de materiales plásticos enterrándolos en rellenos de la región, los cuales se han acumulado sin discriminación; es decir, no se ha realizado una separación segun el tipo de material, ni se ha realizado de manera estructurada. No se cuentan con información exacta de la disposición final que se le da a estos residuos.

Aproximadamente desde la década de 1990, se comenzó con el reciclaje de estos matriales y se crearon algunas Sociedades con conciencia ambiental que buscan darle valor agregado a los residuos plásticos generados en los Cultivos Bananeros, como es el caso de GESTA

Las Películas plásticas manejadas para la protección de los racimos de bananos en los cultivos bananeros, es un Empaque o cubierta flexible de Polietileno de Baja densidad que se utiliza para cubrir "el gajo" de banano, cuya función es de brindar protección.

"La Rafia" o fibra de polipropileno reforzado con cargas, se utiliza para brindarle protección a la planta de banano contra los vientos y ayuda a soportar el peso generado por el racimo de banano y evitar que se caiga.



Figura 1. Rafia o fibra de polipropileno

4. LA MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE DESECHOS PLÁSTICOS

La "madera plástica" (plastic lumber), es un producto fabricado a partir de mezclas de polímeros reciclados, el cual es ideal para diversos usos y aplicaciones, se considera como un producto atractivo para muchos proyectos debido a su costo, calidad adecuada y beneficios ambientales ya que se caracteriza por ser un material reciclado y reciclable.Se ha definido este producto como un perfil extruído o prensado de polipropileno y/o polietileno de baja densidad que posee

características similares a la madera natural, manteniendo su apariencia y mejorando las propiedades de resistencia a la acción de los agentes climáticos, el uso de este producto se orienta a su aplicación en la construcción de perfiles para terrazas, barandas, balcones, cercos de antejardín, estibas, etc. Las maderas plásticas son una alternativa practica que se presenta a la industria para sustituir o complementar las naturales en algunas aplicaciones y usos.Desde hace varios años se vienen utilizando los materiales compuestos como opciones a los materiales tradicionales, debido a las adecuadas propiedades químicas, físicas y mecánicas que estos presentan, como son: el bajo peso y acabados que se pueden obtener con estos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la exploración y estudio de las propiedades mecánicas se emplearon los siguientes materiales:

- Rafia de primera (polipropileno homopolímero con carga de carbonato de calcio)
- Rafia de segunda (polipropileno homopolímero, después de haber sido utilizado en los cultivos de banano de Urabá, Antioquia)
- Cubierta flexible (polietileno de baja densidad reciclado)

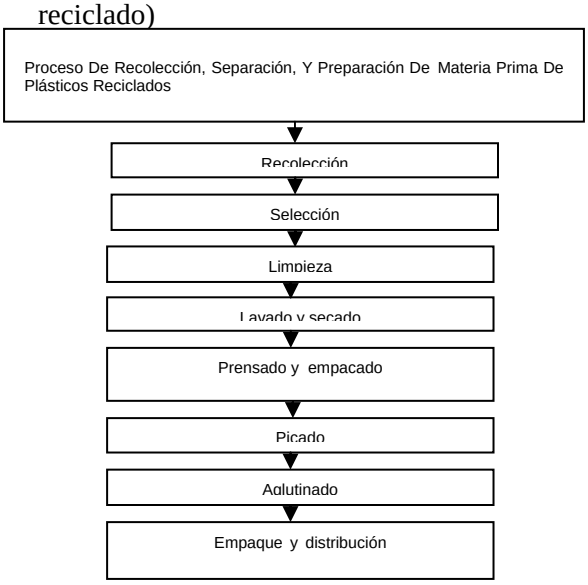


Figura 1. Proceso de adquisición de la materia prima. Industrias Plásticas HM. Sede Apartado

A continuación se describen algunas características de los materiales plásticos, procesos de obtención y clasificaciones principales.

5.1 Proceso de adquisición de la Materia prima.

5.1.1 Recolección:

La materia prima es obtenida en el Urabá antioqueño, en especial de aquellos cultivos de plátano y banano, es clasificada como recolección del plástico reciclado en la fuente, ya que la separación de los diferentes polímeros se realiza directamente en los cultivos, es una forma práctica y económica de lograr una preselección efectiva. Las condiciones más importantes para que este método funcione de manera correcta, es la capacitación que se hace necesaria para que las personas encargadas de la recolección selectiva estén preparadas para reconocer los diversos materiales plásticos de los demás desechos de los cultivos

5.1.2 Selección:

Una vez el material ha sido separado de los desechos no plásticos, se procede a la clasificación según el tipo de plástico.

El material es clasificado en: “guantelete” (polietileno de baja densidad) y “rafia” (polipropileno), este último se clasifica de primera y de segunda, donde la rafia de primera es aquella que se almacena directamente después de ser utilizada, y rafia de segunda, material que se encuentra enterrado en los mismos cultivos, por lo que sus propiedades difieren de la primera.

5.1.3 Lavado y Secado:

Se dan en el lugar de recolección, utilizando un tambor giratorio y presión de agua, con esto se busca eliminar los restos de desechos, impurezas y tierra, etc. El proceso de secado se da por los rayos directos del sol.

La calidad de la limpieza del material no está determinada solo por la pureza y el tipo de plástico involucrado, sino también por el grado de impurezas residuales.

5.1.4 Prensado Y Empacado:

Ya separados y lavados, los materiales son prensados y empacados, listos para ser transportados a la empresa donde serán procesados.

5.1.5 Picado:

Al llegar a la empresa la materia prima es descargada y desempacada para luego ser llevada a una picadora, donde se trituran los materiales para disminuirles el tamaño y hacer más fácil el proceso de aglutinado.

5.1.6 Aglutinado:

El material picado se lleva a la maquina aglutinadora, donde se compacta incrementando

temperatura y formando así una especie de granos o crispetas, de tamaño y forma un poco más homogénea y reducida.

5.1.7 Empaque Y Distribución:

El material aglutinado es empacado en costales, y luego distribuido a la planta de procesamiento.

5.2 Caracterización De La Materia Prima

A continuación se describen las materias primas utilizadas por la empresa después de aglutinar el producto.

5.2.1 Rafia de Primera (Polipropileno reforzado con cargas de carbonato de calcio):

Corresponde a la cabuya utilizada para sostener las plantas de banano para evitar la flexión de la misma con el peso del racimo y es conocida como rafia de "cosecha" la cual es recogida de los cultivos de banano inmediatamente termina la cosecha de plátano, su color es amarillo brillante.

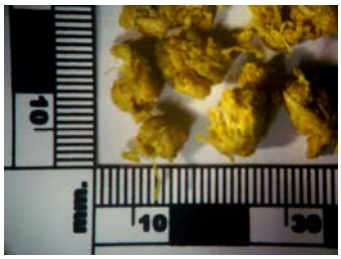


Figura 2. Rafia de Primera

5.2.2 Rafia de Segunda (Polipropileno reforzado con cargas de carbonato de calcio):

La Rafia de "segunda" la cual es recogida tiempo después de terminada la cosecha y ha sufrido degradación debido a los agentes ambientales de la zona bananera (Humedad, Altas temperaturas, Fuertes lluvias, Alta radiación ultravioleta) y debido a esto es de color oscuro

5.2.3 Película plástica, cubierta flexible (Polietileno de baja densidad):

Corresponde a las bolsas post cosecha encargada de cubrir los gajos de los plátanos y es conocida como guantelete y es de color lechoso

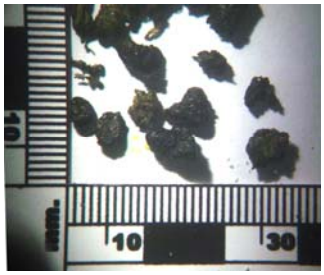


Figura 3. Película plástica de polietileno de baja densidad

5.3 Análisis Granulométrico

Se adelantaron ensayos de granulometría y tamizado en los laboratorios de suelos de la Universidad usando los números de malla 1", ¾", ½", 3/8", #4, #8, # 16, #30, # 50, #100 y #200, estandarizados para determinar la homogeneidad del material después del proceso de aglutinado.

Se realizó un análisis por tamizado de agregado fino y grueso de la materia prima aglutinada para determinar los tamaños de partícula obtenidos según las normas NTC 77 y NTC 1522.

5.3.1 Película plástica, cubierta flexible (Polietileno de baja densidad):

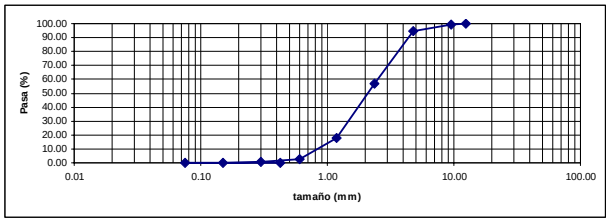


Figura 5. Distribución de partículas en el Polietileno de baja densidad

Tabla 1. Distribución de pesos retenidos para las películas de Polietileno de baja densidad.

PESO SECO ANTES DE LAVAR (g) =		600	PESO SECO DESPUES DE LAVAR (g) =		600
Tamiz	Peso retenido (g)	Peso Retenido Corrgido (g)	% Retenido individual	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
1/2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	3.32	3.32	0.55	0.55	99.45
4	26.91	26.91	4.49	5.04	94.96
8	227.31	227.31	37.89	42.92	57.08
16	236.12	236.12	39.35	82.28	17.72
30	88.63	88.63	14.77	97.05	2.95
50	14.01	14.01	2.34	99.38	0.62
100	2.96	2.96	0.49	99.88	0.12
200	0.47	0.47	0.08	99.96	0.05
Fondo	0.09	0.27	0.04	100.00	0.00

Sumatoria = **599.82**

5.3.2 Rafia de Primera (Polipropileno reforzado con cargas de carbonato de calcio):

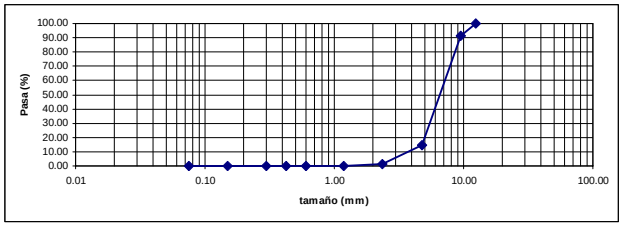


Figura 6. Distribución de partículas en la rafia de cosecha.

Tabla 2. Distribución de pesos retenidos para la rafia de cosecha.

PESO SECO ANTES DE LAVAR (g) =		600	PESO SECO DESPUES DE LAVAR (g) =		600
Tamiz	Peso retenido (g)	Peso Retenido Corrgido (g)	% Retenido individual	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
1/2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	50.98	50.98	8.50	8.50	91.50
4	460.64	460.64	76.77	85.27	14.73
8	81.46	81.46	13.58	98.85	1.15
16	5.43	5.43	0.91	99.75	0.25
30	0.84	0.84	0.14	99.89	0.11
50	0.10	0.10	0.02	99.91	0.09
100	0.16	0.16	0.03	99.94	0.06
200	0.20	0.20	0.03	99.97	0.03
Fondo	0.16	0.19	0.03	100.00	0.00
Sumatoria =	**599.97**				

5.3.3 Rafia de Segunda (Polipropileno reforzado con cargas de carbonato de calcio):

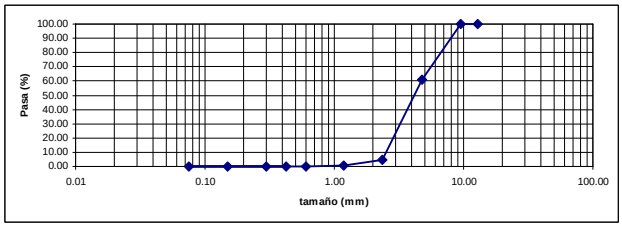


Figura 7. Distribución de partículas en la rafia de segunda.

Tabla 3. Distribución de pesos retenidos para la rafia de segunda.

PESO SECO ANTES DE LAVAR (g) =		600	PESO SECO DESPUES DE LAVAR (g) =		600
Tamiz	Peso retenido (g)	Peso Retenido Corrgido (g)	% Retenido individual	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
1/2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	0.35	0.35	0.06	0.06	99.94
4	233.68	233.68	38.95	39.01	61.00
8	336.78	336.78	56.13	95.14	4.87
16	23.62	23.62	3.94	99.07	0.93
30	4.32	4.32	0.72	99.79	0.21
50	0.54	0.54	0.09	99.88	0.12
100	0.18	0.18	0.03	99.91	0.09
200	0.09	0.09	0.02	99.93	0.07
Fondo	0.06	0.44	0.07	100.00	0.00
Sumatoria =	**599.62**				

Se observa la distribución de tamaño de partícula obtenida en el ensayo. Es claro que no observa una distribución normal de las partículas pero a su vez si se muestra un comportamiento característico en todas las figuras, de esto, se puede concluir que la máquina aglutinadora usada en estos ensayos es confiable y los tamaños de partícula pueden predecirse de acuerdo a las propiedades del material a trabajar.

5.4 Procesamiento

5.4.1 Condiciones de preparación de las mezclas.

El material una vez aglutinado, se realiza un precalentamiento y mezclado para llevarlo a la extrusora, en donde es dosifica de acuerdo al tipo de mezcla a procesar.

5.4.2 Moldeo por extrusión.

La extrusión de polímeros es un proceso industrial, basado en el mismo principio de la extrusión general, sin embargo la ingeniería de polímeros ha desarrollado parámetros específicos para el plástico, de manera que se estudia este proceso aparte de la extrusión de metales u otros materiales.

En el moldeo por extrusión se utiliza un transportador de tornillo helicoidal. Las mezclas de polímeros son transportadas desde la tolva, a través de la cámara de calentamiento, hasta la boquilla del molde.

Las muestras de plásticos reciclados se adicionan a la tolva, en donde el material es dosificado y pasa al husillo, (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en un cilindro a temperaturas controladas, allí es fundido, arrastrado por medio de presión y finalmente es forzado a pasar a través de un Dado también llamado boquilla, y se obtiene el perfil geométrico prestablecido, para los ensayos realizados se utilizan estacones y tablones.

Tabla 4. Materiales, características principales.

MEZCLAS / MATERIAL	PROBETAS	TEXTURA	COLOR
PP (Rafia de Primera)	1, 2, 3, 4, 5, 6	Una especie de vetas producidas por el flujo de arrastre del material.	Amarillo Ocre
PP (Rafia de Segunda)	22, 23, 24	Rugosa. Acabado superficial con vetas muy similares a la madera.	Verde Intermedio
PEBD (Películas de Polietileno de baja densidad)	33,34,35,36	Lisa. En algunas regiones evidencia concavidad.	Negro con matices rojizos.

5.5 Determinación de la Densidad

En forma macroscópica, se puede definir la densidad de una sustancia homogénea, como la

relación entre la masa de una cantidad determinada de la sustancia y el volumen ocupado por ella:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

donde ρ = Densidad, m = Masa de la muestra y V = Volumen ocupado por la masa



Figura 8. Montaje del dispositivo para la medición de la densidad.

Se realizaron mediciones de tipo experimental de las densidades de las muestras de polímeros reciclados empleadas, utilizando mediciones de volumen y pesos de las muestras, y se compararon con la densidad del agua.

Para la determinación de la densidad de las muestras de los polímeros seleccionadas se pesan las muestras de sólidos y se determinan su volumen por desplazamiento de líquido.



Figura 9. Muestras de los polímeros reciclados seleccionados para la medición de la densidad.

A continuación se presentan los valores experimentales de densidad obtenidos para cada una de las mezclas ensayadas.

Tabla 5. Valores de densidades obtenidos experimentalmente para los polímeros reciclados.

MATERIAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm^3)
PP1	0.818
PP2	0.673
LDPE	0.683

5.6 Índice De Fluidez

La prueba del índice de fluidez es un método normalizado para una rápida determinación de las propiedades de fluidez de las masas termoplásticos. En las normas internacionales ISO 1133 se denomina el índice de fluidez como “melt flow rate” (MFR). [7]

Éste indica la masa en gramos de un fundido de plástico que se hace pasar a través de una boquilla normalizada durante 10 minutos, con una fuerza del pistón y temperatura determinados.

Tabla 6. Valores de MFI para la Rafia de primera.

	Condiciones: 230 / 2,16			
	PP RECICLADO Rafia de primera			
	PESO (g)	**MVI (cm3/10 min)**	**MFI (g/10min)**	**Densidad (230ºC)**
	0,147	11,54	8,84	0,77
	0,147	11,53	8,66	0,75
	0,144	11,53	8,65	0,75
	0,144	11,53	8,84	0,77
Promedio	**0,146**	**11,53**	**8,75**	**0,76**
Desviaciòn	**0,002**	**0,00**	**0,11**	**0,01**
Coef Variac	**1,190**	**0,04**	**1,22**	**1,52**
	Viscosidad:		917,48 Pa*s	
	Esfuerzo de corte		19396,8 Pa	
	Velocidad de Cizalladura:		21,14 1/s	

Tabla 7. Valores de MFI para la Rafia de segunda

	Condiciones: 230 / 2,16			
	PP RECICLADO CAFÉ			
	PESO (g)	**MVI (cm3/10 min)**	**MFI (g/10min)**	**Densidad (230ºC)**
	0,129	10,40	7,74	0,75
	0,130	10,39	7,82	0,75
	0,130	10,38	7,82	0,75
	0,134	10,35	8,01	0,77
Promedio	**0,131**	**10,38**	**7,85**	**0,76**
Desviaciòn	**0,002**	**0,02**	**0,11**	**0,01**
Coef Variac	**1,696**	**0,21**	**1,46**	**1,32**
	Viscosidad:		1018,97 Pa*s	
	Esfuerzo de corte		19396,8 Pa	
	Velocidad de Cizalladura:		19,03 1/s	

5.7 Métodos De Caracterización Mecánica

Se realizaron pruebas de flexión basados en la **N**orma Técnica ASTM D 6108-03. Se usó una máquina universal de ensayos INSTROM Modelo 3366 con capacidad máxima de 10 kN.

Este método de ensayo se refiere a la determinación de las propiedades mecánicas de la madera plástica y artículos fabricados de madera plástica, cuando toda la sección transversal está cargada en compresión a niveles relativamente bajos de aplicación de tasas uniformes de esfuerzos o de carga. Las probetas de ensayo son "Fabricadas" en la forma de utilizarlas. Como tal, este es un método de prueba para evaluar las propiedades de la madera plástica o productos fabricados de madera plástica y no un método de ensayo de propiedades del material.

Las condiciones de ensayo de las tres materias primas se observan en la siguiente tabla y debido al uso de un material anisotrópico se realiza en dirección paralela y transversal al flujo del polímero fundido.

Tabla 8. Condiciones de ensayo de Flexión para las tres materias primas

Películas de Polietileno de baja densidad (LDPE)	
Condiciones ambientales	26°C – 45 % HR
Número de muestras	10 en dirección longitudinal 10 en dirección transversal
Velocidad de ensayo	0.6 mm/min
Celda de carga	10 kN
Velocidad de adquisición	10 datos/segundo
Separación entre soportes	40 mm
Rafia de Cosecha (PP)	
Condiciones ambientales	28°C – 41 % HR
Número de muestras	10 en dirección longitudinal 10 en dirección transversal
Velocidad de ensayo	0.6 mm/min
Celda de carga	10 kN
Velocidad de adquisición	10 datos/segundo
Separación entre soportes	40 mm
Rafia de Segunda (PP Degradado Ambientalmente)	
Condiciones ambientales	28°C – 42% HR
Número de muestras	10 en dirección longitudinal 10 en dirección transversal
Velocidad de ensayo	0.6 mm/min
Celda de carga	10 kN
Velocidad de adquisición	10 datos/segundo
Separación entre soportes	40 mm

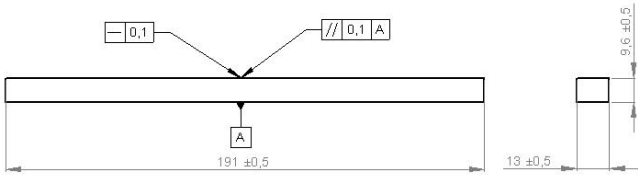


Figura 10. Planos de las probetas de flexión

La probeta usada en este ensayo fue obtenida de la extrusión de la materia prima y extraída por maquinado de la dirección paralela al flujo (longitudinal) y transversal al mismo (transversal). Sus planos se observan en y en la se muestran las probetas reales que corresponden a la probeta tipo I de la norma ASTM D 790.

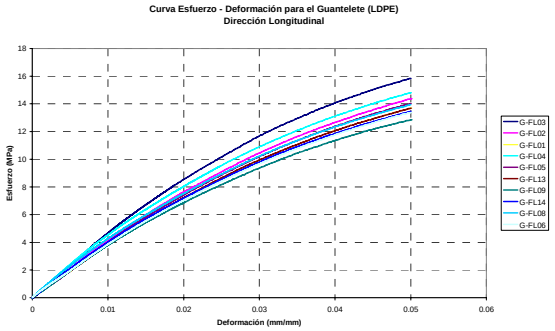


Figura 11. Curva Esfuerzo – Deformación para las películas de Polietileno de baja densidad. Dirección Longitudinal

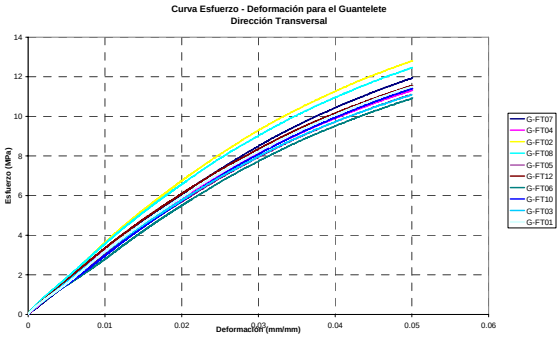


Figura 12. Curva Esfuerzo – Deformación para las películas de Polietileno de baja densidad. Dirección Transversal

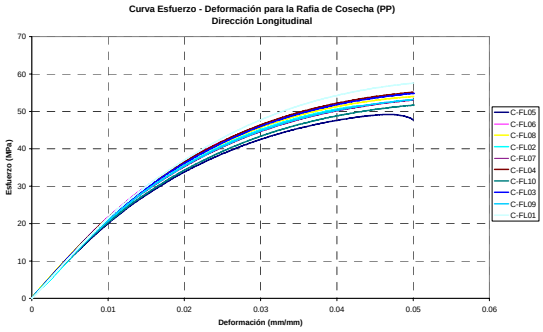


Figura 13. Curva Esfuerzo – Deformación para el Polipropileno (Rafia de primera). Dirección Longitudinal

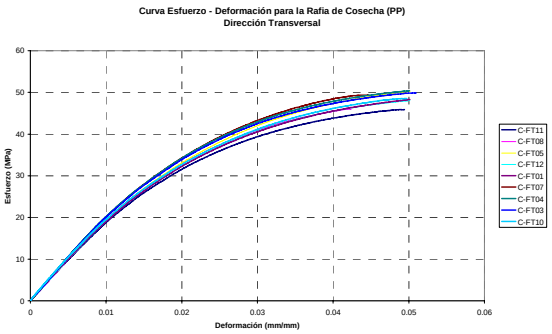


Figura 14. Curva Esfuerzo – Deformación para el Polipropileno (Rafia de primera). Dirección Transversal

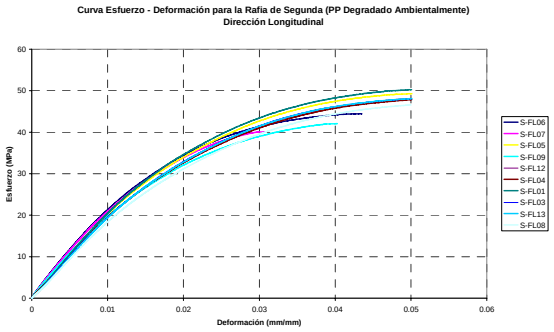


Figura 15. Curva Esfuerzo – Deformación para el Polipropileno (Rafia de segunda). Dirección Longitudinal

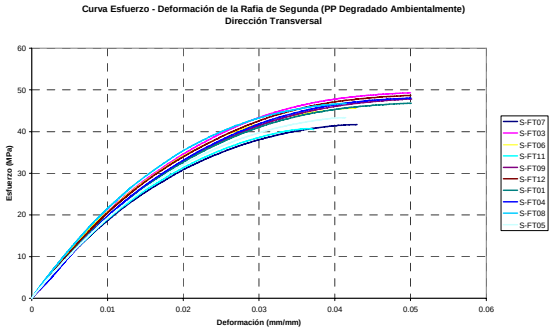


Figura 16. Curva Esfuerzo – Deformación para el Polipropileno (Rafia de segunda). Dirección Transversal

Tabla 9. Propiedades mecánicas en flexión de los tres polímeros reciclados.

Películas de Polietileno de baja densidad		
	Longitudinal	**Transversal**
Deformación en rotura (%)	5	5
Módulo de elasticidad (MPa)	422.3	359.21
Resistencia a la flexión (MPa)	14.01	11.61

Rafia de Primera (PP)		
	Longitudinal	**Transversal**
Deformación en rotura (%)	4.93	4.86
Módulo de elasticidad (MPa)	2310	2080
Resistencia a la flexión (MPa)	53.35	48.5
Rafia de Segunda (PP)		
	Longitudinal	**Transversal**
Deformación en rotura (%)	4.65	4.56
Módulo de elasticidad (MPa)	2060	2180
Resistencia a la flexión (MPa)	46.48	45.86

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] www.acoplasticos.org

[2] Proceso de adquisición de la materia prima. Industrias Plásticas HM. Sede Apartado.

[3] Proceso de adquisición de la materia prima. Industrias Plásticas HM. Sede Apartado

[4] Norma Técnica ASTM D-1238

[5] Norma Técnica ASTM D-6108-03

[6] Mejía Mesa, Gonzalo Alberto. Gómez López, John Santiago. "Los Desechos Generados por la Industria Bananera Colombiana". En: Seminario Internacional; Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI

[7] Norma Técnica ISO-1133 "Determinación del Índice de Fluidez en Termoplásticos".

[8] Norma ASTM D 790-02, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, Vol. 8.01, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2003.