



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN Y REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ Y DE PLÁTANO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: SOFÍA NATALIA SANIPATÍN BASANTES

DIRECTOR: ING. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Sofía Natalia Sanipatín Basantes

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Sofía Natalia Sanipatín Basantes, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

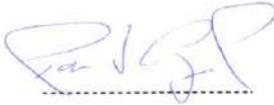
Riobamba 12 de noviembre de 2019

Sofía Natalia Sanipatín Basantes

060408832-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Técnico “**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN Y REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ Y DE PLÁTANO**”, realizado por la señorita Sofía Natalia Sanipatín Basantes, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marlene Jacqueline García Veloz PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2019-11-12
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2019-11-12
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2019-11-12

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico aquellas personas que han estado junto a mí en los buenos y malos momentos brindándome su apoyo incondicional, a Lourdes y Edwin mis padres, a mis abuelitos y mi pequeña hermanita Kelly, porque desde el hogar con todo su cariño han impulsado a que sea una buena persona y profesional, a mi mejor amiga Kathy que la considero un miembro más de mi familia que tras 19 años de amistad hemos compartido momentos inolvidables, a todos mis amigos/as que han estado pendientes a pesar de la distancia y circunstancias, pero de manera especial a la luz de mi vida a quien siempre amaré con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por guiarme a cada paso en los momentos difíciles de debilidad y flaqueza, a mi familia que me ha apoyado con su cariño, paciencia y perseverancia, a mis amigos/as quienes me tendieron la mano cuando tuve dificultades. De manera especial agradezco a mi Tutor y amigo Paúl, por brindarme sus conocimientos y consejos durante mi carrera profesional ya que sin su apoyo no habría sido esto posible, así como también a Dr. Robert por orientarme durante el desarrollo del presente trabajo. Agradezco a la vida porque he conocido excelentes personas con quienes pude compartir momentos inolvidables e irrepetibles.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Identificación Del Problema.....	3
1.2. Línea base del proyecto	4
1.3. Beneficiarios directos e indirectos	4
1.3.1 <i>Beneficiarios Directos</i>	4
1.3.2 <i>Beneficiarios Indirectos</i>	4
1.4. Localización del Proyecto.....	4
1.4.1 <i>Macro localización</i>	4
1.4.2 <i>Micro localización</i>	5
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1 <i>General</i>	5
1.5.2 <i>Específicos</i>	6
CAPÍTULO II	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1. Marco Conceptual.....	7
2.1.1. <i>Ingeniería de Materiales</i>	7
2.1.2. <i>Plásticos</i>	7
2.1.3. <i>Polipropileno</i>	8
2.1.4. <i>Propiedades del Polipropileno</i>	9
2.1.5. <i>Reciclaje de plástico</i>	11
2.1.6. <i>Reciclaje mecánico</i>	11
2.1.7. <i>Extrusión</i>	11
2.1.8. <i>Moldeo por inyección</i>	12
2.1.9. <i>Materiales compuestos reforzados con fibras</i>	13
2.1.10. <i>Fibra de Abacá</i>	13
2.1.11. <i>Fibra de Plátano</i>	14
2.1.12. <i>Ensayos mecánicos para plástico</i>	14
CAPÍTULO III	
3. MARCO METODOLÓGICO.....	17

3.1.	Tipo de estudio	17
3.2.	Métodos y Técnicas	17
3.2.1	<i>Métodos</i>	17
3.2.2.	<i>Técnicas</i>	18
3.3.	Acondicionamiento de la materia prima.	20
3.3.1.	<i>Fibra</i>	20
3.3.2.	<i>Polipropileno reciclado</i>	21
3.4.	Procedimiento de la extrusión.....	22
3.5.	Diseño del experimento.....	23
3.6.	Variables del proceso	24
3.7.	Obtención de Probetas.....	26
3.7.1.	<i>Diagrama de Proceso</i>	28
3.8.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.	29
3.9.	Análisis del costo/beneficio del proyecto.	29
3.9.1.	<i>Análisis de costos de materias primas, insumos e instrumentos de laboratorio</i> ..	29
3.9.2.	<i>Análisis de costo de pruebas mecánicas</i>	30
3.10.	Cronograma de ejecución del proyecto.	31
CAPÍTULO IV		
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Caracterización de materia prima	32
4.2.	Condiciones de procesamiento	33
4.3.	Factibilidad de la fibra para el proceso.....	34
4.4.	Rendimiento del Proceso	34
4.5.	Validación de ensayos	35
4.6.	Resultados en Pruebas.....	36
4.6.1.	<i>Resultados de la Resistencia a la Tracción</i>	36
4.6.2.	<i>Resultados de la Resistencia a la Compresión</i>	40
4.6.3.	<i>Resultados de Prueba de Flexión</i>	41
4.6.4.	<i>Resultados de Prueba de Dureza</i>	42
4.6.5.	<i>Microscopia de Barrido</i>	42
4.6.6.	<i>Comparación de resultados</i>	45
4.7.	Representaciones Gráficas de Resultados	46
CONCLUSIONES		49
RECOMENDACIONES		50
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Propiedades del Polipropileno	10
Tabla 1-3: Obtención de la Fibra de Abacá	20
Tabla 2-3: Obtención de la Fibra de Plátano.	21
Tabla 3-3: Propiedades de las fibras.....	22
Tabla 4-3: Determinación de perfiles de temperatura (°C).	25
Tabla 5-3: Valoraciones para resultados observados en las probetas.	26
Tabla 6-3: Características y descripción de los equipos.	29
Tabla 7-3: Costo de realización del proyecto.	29
Tabla 8-3: Costo de pruebas mecánicas	30
Tabla 1-4: Características cualitativas en probetas para determinación de temperatura y velocidad de tornillo.	33
Tabla 2-4: Asignaciones para las muestras empleadas.	36
Tabla 3-4: Resultados de resistencia a la tracción en Polipropileno	36
Tabla 4-4: Resultados de resistencia a la tracción con fibra de Abacá.	37
Tabla 5-4: Resultados de resistencia a la tracción con fibra de Plátano.....	37
Tabla 6-4: Resultados de resistencia a la compresión de PP.	40
Tabla 7-4: Resultados de resistencia a la compresión con fibra de Abacá.....	40
Tabla 8-4: Resultados de resistencia a la compresión con fibra de Plátano.	40
Tabla 9-4: Resultados de resistencia a la flexión en PP.....	41
Tabla 10-4: Resultados de resistencia a la flexión con fibra de Abacá.	41
Tabla 11-4: Resultados de resistencia a la flexión con fibra de Plátano.	41
Tabla 12-4: Resultados de Dureza de todas las muestras	42
Tabla 13-4: Resultados de pruebas en probetas.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Macro Localización.....	5
Figura 2-1: Micro Localización	5
Figura 1-2: Símbolo internacional del reciclaje	11
Figura 2-2: Curva Deformación -Tensión para pruebas de Tracción.	15
Figura 3-2: Curva Deformación -Tensión para pruebas de Tracción.	15
Figura 1-3: Molde de Probeta Tipo B para plástico reforzado con fibra vegetal.	19
Figura 1-4: Análisis SEM en muestra de PP	42
Figura 2-4: Análisis SEM en muestras con fibra de Abacá y PP.....	43
Figura 3-4: Análisis SEM en muestras con fibra de Abacá y PP.....	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Resultado FTIR del Polipropileno Reciclado.....	32
Gráfico 2-4: Análisis ANOVA – Método Tukey.....	35
Gráfico 3-4: Curva Esfuerzo-Deformación en PP.....	38
Gráfico 4-4: Curva Esfuerzo-Deformación en PP con Fibra de Abacá.	38
Gráfico 5-4: Curva Esfuerzo-Deformación en PP con Fibra de Plátano.....	39
Gráfico 6-4: Composición en análisis SEM en muestra de PP.....	43
Gráfico 7-4: Composición en análisis SEM en muestra de Abacá y PP.....	44
Gráfico 8-4: Composición en análisis SEM en muestra de Plátano y PP.....	45
Gráfico 9-4: Comparación de Curva Esfuerzo-Deformación.....	46
Gráfico 10-4: Comparación del Esfuerzo máximo en Compresión.....	47
Gráfico 11-4: Comparación del Esfuerzo de rotura en Flexión.....	47
Gráfico 12-4: Comparación de Dureza en Escala SHORE D.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** NTE INEN 2043:2013. Plásticos. Determinación de la resistencia a la rotura por Tracción.
- ANEXO B:** INEN-ISO 178. Ensayos de flexión para plásticos.
- ANEXO C:** INEN-ISO 604. Plásticos. Determinación de las propiedades en compresión.
- ANEXO D:** Elaboración de Probetas evidencia gráfica.
- ANEXO E:** Reporte de pruebas de resistencia a la rotura por Tracción en Laboratorio de materiales “LenMav”.
- ANEXO F:** Evidencia fotográfica de modo de rotura en probetas durante ensayo de Tracción, para determinación de tipo de material.
- ANEXO G:** Resultados de pruebas de Flexión. Laboratorio “LenMav”.
- ANEXO H:** Resultados de pruebas de Compresión. Laboratorio “LenMav”.
- ANEXO I:** Resultados de análisis de Microscopio Electrónico de Barrido, laboratorio de Mecánica. ESPOCH

RESUMEN

Por medio del estudio comparativo de las propiedades mecánicas de residuos de polipropileno (PP) obtenidos por extrusión y reforzados con fibras de abacá y de plátano, se determinó la influencia del tipo de fibra y la concentración de fibra vegetal en la matriz de plástico de polipropileno, la aplicación de agente acoplante anhídrido ftálico, se realizó para mejorarla homogeneidad de la mezcla. Se realizaron muestras con variación de 10, 20 % en peso de fibra con PP y tratamientos con el uso de agente de acoplamiento aplicados a las concentraciones antes mencionadas, efectuando un total de nueve muestras incluyendo el PP reciclado. Las probetas se obtuvieron en la extrusora de husillo sencillo del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, trabajando a una temperatura de 175 °C en las zonas de dosificación, transición y 150 °C en la zona de alimentación del tornillo extrusor, con una velocidad del tornillo de 500 rpm. Realizadas las pruebas de resistencia a la tracción, flexión y compresión a las probetas de PP reciclado y las injertadas, es notoria la incidencia de la fibra en los resultados en comparación al PP, en los ensayos de resistencia a la tracción mejora el esfuerzo de fluencia un 22% al trabajar con fibra de abacá, en ensayos de flexión mejoran las propiedades al trabajar con 20% de fibra y uso de acoplante.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <EXTRUSIÓN>, <POLIPROPILENO>, <ABACÁ (*Musa textiles*) >, <PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) >, <FLEXIÓN>, <TRACCIÓN>, <COMPRESIÓN>.

ESPOCH - DBRAI
PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS
BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL
00117 200
REVISIÓN DE RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA
Por: le Hora: 10-16

ABSTRACT

Through the comparative study of the mechanical properties of polypropylene (PP) residues obtained by extrusion and reinforced with abaca and banana fibers, the influence of the type of texture and the concentration of vegetable fiber on the polypropylene plastic matrix was determined. The application of a phthalic anhydride coupling agent was performed to improve the homogeneity of the mixture. Samples were made with a variation of 10, 20% by weight of fiber with PP and treatments with the use of a coupling agent applied at the concentrations, as mentioned earlier, making a total of nine samples, including recycled PP. The specimens were obtained in the single screw extruder of the Unitary Operations Laboratory of the Polytechnic School of Chimborazo, working at a temperature of 175 °C in the areas of dosage, transition, and 150 °C in the feeding zone of the extruder screw, with a screw speed of 500 rpm. Once the tensile, flexural and compression resistance tests have been carried out on the recycled and grafted PP specimens. The incidence of fiber in the results compared to the PP is notorious. In tensile strength tests, the creep stress improves 22% when working with abaca fiber. In flexural tests, the properties improve when working with 20% fiber and the use of a coupling.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <EXTRUSION>, <POLYPROPYLENE>, <ABACA (*Musa Textilis*)>, <BANANA (*Musa paradisiac*)>, <FLEXION>, <TRACTION>, <COMPRESSION>.



INTRODUCCIÓN

El Polipropileno (PP) es un polímero ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados debido a la excelente combinación de propiedades que presenta como peso ligero y resistencia al impacto. Con el PP es posible fabricar desde parachoques, tuberías, fibras, cajas, envases, hasta el tejido que recubre la parte exterior de los pañales. Algunas de las aplicaciones más importantes obtenidas mediante el proceso de extrusión son: soplado (botellas), productos estirados (fleje, rafia) y productos no estirados (tubería, perfiles) (Mora et al. 2015).

Sin lugar a duda este material se encuentra omnipresente en nuestro entorno, razón por la cual se plantea aplicar técnicas convencionales de reciclaje, entre ellas un reciclaje mecánico, la extrusión, inyección y termoconformado se han convertido en una práctica muy común a nivel industrial en aplicaciones como recipientes rígidos de embalaje, electrodomésticos, herramientas de mano, películas elásticas, fibras y telas, piezas para vehículos, materiales del sector médico y farmacéutico, entre otros (Caicedo et al. 2017).

Para dar una alternativa de uso a los residuos de polipropileno en el reciclaje mecánico el presente proyecto empleará el método de extrusión debido a que el material responde satisfactoriamente a este proceso, además de que es factible injertarlo a un refuerzo, el cual es un material que aporta propiedades de resistencia muy superiores a las del material original (Seymour, R & Carraher, C 2017).

El estudio de combinaciones entre residuos de polipropileno y fibras de origen vegetal por medio de la extrusión, posee dos enfoques significativos, como primer punto se encuentra la problemática ambiental en cuanto a la producción y consumo masivo de plásticos en la actualidad, razón por la cual se pretende la reutilización de estos componentes orientándolos a formar nuevos materiales y productos amigables al ambiente, es por ello que el beneficio va más allá de un grupo limitado de personas puesto que si se proyecta a gran escala esta propuesta, se estaría generando ingresos y plazas de trabajo en diferentes áreas, fomentando así una cultura de responsabilidad con el ambiente y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar el proceso a través del tiempo.

El segundo enfoque va orientado a los datos de producción nacional y exportación de la agroindustria de abacá y plátano, considerando que Ecuador es el segundo productor mundial de abacá, y uno de los principales exportadores de plátano en Sudamérica.

Para analizar las posibilidades de obtener nuevos materiales resultantes de la extrusión de residuos de polipropileno con fibra, el presente trabajo utilizará material fibroso procedente de la vaina del abacá y del pseudotallo de la planta de plátano en conjunto con los residuos triturados. Este tipo de mezclas plantean desafíos propios de los compuestos termoplásticos reforzados con fibras de celulosa y su compatibilidad limitada como consecuencia de la fibra de celulosa hidrófila y la

matriz de poliolefina hidrófoba, que reflejan una falta de adhesión, lo que ocasiona propiedades mecánicas insatisfactorias de los compuestos. Esto se soluciona al añadir un acoplante a la mezcla que mejora la dispersión de las fibras introduciendo puntos de anclaje en la matriz aumentando la resistencia de estos compuestos (Lila et al. 2018). Brindando mejoras en las propiedades como resistencia al impacto, baja densidad, alta rigidez, buena resistencia química y estabilidad térmica al material obtenido a bajo precio.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación Del Problema

Hoy en día, el plástico presenta una demanda global de alrededor de 55 millones de toneladas al año puesto que los polímeros han logrado desplazar a los materiales metálicos y cerámicos, es por ello que sus residuos representan uno de los impactos ambientales más significativos a nivel mundial. Del número total de toneladas anuales de plástico producida, se estima que más del 78% en peso corresponde a la categoría de termoplásticos, entre los cuales se encuentra el polietileno de alta y baja densidad (LDPE y HDPE), polipropileno (PP), polietilentereftalato (PET) y cloruro de polivinilo (PVC). (Leiva Chacón & Torres Gualpa, 2016). Específicamente la producción del polipropileno es de 19,3 %, los mismos que están presentes en envases de alimentos, envoltorios de caramelos y aperitivos, recipientes aptos para microondas, tuberías, piezas de automóvil (Conversio Market & Strategy 2018).

En Ecuador, según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) cada habitante produce en promedio alrededor de 0,58 kilogramos de residuos sólidos, en el área urbana correspondiente al año 2016. En la ciudad de Riobamba se recogen cerca de 150 toneladas diarias de basura, de las cuales el 13,55% corresponden a plásticos. (Centro Regional, 2016).

Específicamente, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), con una población estudiantil de aproximadamente 13 514 personas, procedentes de varias ciudades del país, genera una gran cantidad de residuos sólidos, que en su mayoría son plásticos. Como se aprecia, es una cantidad significativa, representando un alto impacto ambiental, no sólo para el entorno de los estudiantes y trabajadores que forman la ESPOCH, sino también directamente a la ciudad, razón por la cual se busca diferentes alternativas que den frente a la producción desmesurada de residuos plásticos, convirtiéndolos a estos en nuevos materiales o productos.

Este estudio tiene como finalidad emplear estos residuos plásticos, específicamente polipropileno, puesto que es el material más versátil en la fabricación de materiales de uso diario y no se recicla; con la implementación de fibras naturales de Abacá y Plátano, para generar probetas por medio de la extrusión en las cuales se medirá sus propiedades mecánicas para obtener

una alternativa para este material, mejorando sus características y que tengan una aplicación mediante reciclado mecánico.

1.2. Línea base del proyecto

El per capital de producción de residuos sólidos según el INEC para el año 2016 en el Ecuador es de 0,58 kg/ día/hab, de los cuales el plástico es el residuo de mayor reciclaje con 34% mediante la recolección diferenciada de basura. El plástico que llega a las diferentes operadoras de clasificación, mal llamadas recicladoras, es lavado y triturado para su posterior venta. El polipropileno forma parte de esta línea de proceso, sin embargo, su reutilización es limitada por la pérdida de propiedades el momento de un re tratamiento por lo que se hace necesario el mejoramiento de sus propiedades con refuerzos adicionales.

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1 Beneficiarios Directos

El presente proyecto propone un beneficio directo a todos los estudiantes y trabajadores pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2 Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos serán todos los habitantes de la ciudad de Riobamba

1.4. Localización del Proyecto

1.4.1 Macro localización

El estudio se llevará a cabo en la Provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la Panamericana Sur km ½, altitud 2822 m.s.n.m.

1.5.2 Específicos

- Establecer los tratamientos que debe tener cada fibra previa a ser procesada con polipropileno en la extrusora.
- Determinar los perfiles de temperatura y velocidad de tornillo a los cuales se producirá la extrusión del polipropileno reciclado en conjunto con la fibra.
- Obtener probetas a partir de residuos de polipropileno reciclado con injerto de anhídrido ftálico como agente acoplante y las fibras.
- Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de las probetas obtenidas.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Ingeniería de Materiales

Se conoce como ingeniería de materiales a la rama de la ingeniería que estudia las aplicaciones y combinaciones entre los distintos tipos de materiales existentes, en donde se combinan estudios científicos, básicos, y de práctica ingenieril. Este campo abarca los metales, cerámicos, polímeros y combinados. La estructura de un material se relaciona con la disposición de sus componentes internos. Las propiedades de un material se expresan en términos del tipo y magnitud de la respuesta a un estímulo específico impuesto (Callister et al. 2016).

2.1.2. Plásticos

Muchos de los objetos que utilizamos diariamente son de plástico, y los llamamos así porque alguna de sus propiedades es plástica; se conoce que el primer plástico utilizado es a base de laca en China en el siglo XIII antes de Cristo; los Mayas y Aztecas utilizaban el caucho en el siglo XIII de nuestra era. Es en el siglo XIX que se inicia las bases para su producción, con Wesley Hyatt que patentó el celuloide (Nitrato de celulosa+Alcanfor+Alcohol), a pesar de ser inflamable y deteriorarse con la luz, tuvo múltiples usos. En 1907 Leo Baekeland introduce los primeros sintéticos (fenol-formaldehído), denominada Baquelita y comercializada a partir de 1909 (Xunta de Galicia, 2019).

La utilización de los polímeros data de 1920 cuando Staudiger definió la macromolécula, a partir de la cual se desarrolla notables investigaciones, así, fueron interactuando con otras sustancias en la búsqueda de mejorar sus propiedades, secuencialmente se buscó la optimización de su procesamiento; en la actualidad se desarrolla polímeros y plásticos de alta calidad tanto en su resistencia como en su densidad (Castillo, 2015).

A los plásticos se los puede definir como materiales orgánicos, por contener carbono y otros elementos (nitrógeno, azufre, hidrógeno, oxígeno) de peso molecular elevado; constituidos de esta manera por macromoléculas, obtenidos por la transformación de sustancias naturales e inclusive la síntesis de productos derivados del petróleo, gas u otro mineral (Cornish, 2015).

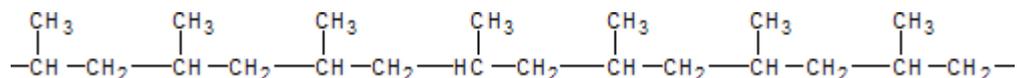
2.1.3. Polipropileno

Es un material plástico cuyas características contemplan resistencia a la distorsión térmica, excelentes propiedades eléctricas y de resistencia a fatiga, son químicamente inertes, relativamente baratos y con poca resistencia a la radiación ultravioleta. Las aplicaciones típicas del polipropileno es para botellas esterilizables, película de embalaje, paneles de protección en automoción, fibras, maletas (Callister et al. 2016).

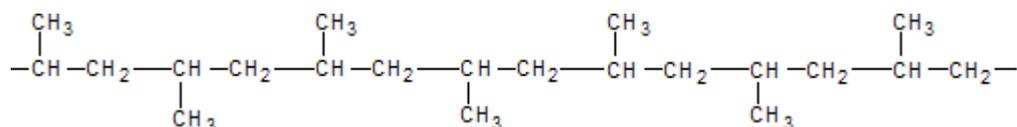
El polipropileno comercial, en consecuencia del volumen que representan los grupos metilo reflejan una estructura molecular en forma de hélice debido al posicionamiento espacial de 120° respecto al anterior, dando como resultado un empaquetamiento de las cadenas que deja muchos huecos, los mismos que pueden ser ocupados por componentes ajenos de un tamaño adecuado que no alteren su estructura cristalina, también es importante saber que la posición espacial de los grupos metilo determina los diferentes tipos de polipropileno que se producen, aunque por lo general en su mayoría el PP comercial para fabricar cuerdas es de tipo isotáctico (cuando el grupo funcional se ubica solamente en un lado del monómero, es decir, en solo un eje del plano tridimensional.) pues presenta excelentes propiedades mecánicas.

El polipropileno que es fabricado industrialmente es un polímero lineal, al formar una cadena de hidrocarburos saturados, por cada 2 átomos de carbono se allá ramificado un grupo de metilo (CH_3), dando lugar a tres formas isómeras: isotáctica, sindiotáctica o atáctica.

Isotáctica:



Sindiotáctica:



Propiedades que pueden ser favorables o desfavorables: son realmente flexibles y en especial no conducen la electricidad, se los utiliza como aislantes térmicos y se los fabrica a través de la aplicación de calor y presión.

Generalmente el polipropileno posee una densidad de $0.89 - 0.91 \text{ g/cm}^3$, la cristalinidad va del 50 al 60% por tratarse de un polímero que posee un elevado grado de cristalinidad, su precio puede oscilar entre 1.50 dólares a 1.70 dólares el kilogramo; por lo anteriormente descrito se ha vuelto el termoplástico más comercializado ubicándose en un tercer lugar, a más de ello es uno de los más baratos, sintetizándose a bajo coste con la utilización de materiales petroquímicos (Universidad de Barcelona, 2019).

Algunos plásticos poseen características especiales por ser reforzados con otros materiales como fibra de vidrio; en relación al precio hay muy baratos como caros dependiendo la utilidad; otros se los combina con metales como el vinilo – metal o poliésteres metalizados, se los aplica para autos, artículos domésticos, envases, aplicaciones industriales y otras en general.

Tabla 1-1: Propiedades del Polipropileno

Propiedades mecánicas	Módulo elástico: 0.896 – 1.55 GPa	Coefficiente de Poisson: 0.405 – 0.427	Resistencia mecánica a la compresión: 25.1 – 55.2 MPa	Resistencia mecánica a la tracción: 27.6 – 41.4 MPa	Tenacidad a fractura (KIC): 3 – 4.5 MPa.m ^{1/2}	Comportamiento a tracción: A la temperatura de: T _{amb} ; Alargamiento (%) 100- 600
Propiedades Térmicas (buen aislante térmico)	Temperatura de transición vítrea: (-25.2) - (-15.2) °C	Temperatura de fusión: 150 - 175 °C	Coefficiente de dilatación térmica lineal: A la temperatura de T _{amb} ; Coefficiente de expansión lineal: 80e-6 - 100e-6 1/°C	Conductividad térmica: 0.113 - 0.167 W/m·K T _{amb} ; Conductividad térmica: 0.113 - 0.167 W/m·K	Capacidad calorífica específica: 1.87e3 - 1.96e3 J/kg·K; T _{amb} ; Capacidad calorífica específica: 1.87e3 - 1.96e3 J/kg·K	
Propiedades Tecnológicas: Sus propiedades disminuyen a baja temperatura.	Temperatura mínima de utilización: (-123) - (-73.2) °C	Temperatura máxima de utilización: 100 - 115 °C	Mecanización: Media	Soldabilidad: Es un polímero altamente soldable.	Formabilidad: Buena. Las piezas moldeadas de PP suelen ser blancas y opacas.	Reciclabilidad: Es un material reciclable.
Propiedades Químicas: Resistencia al agua, inflamable, sensible a metales oxidantes (cobre, magnesio,, cobalto)	Resistencia a los ácidos: Tiene muy buena resistencia a los ácidos fuertes y débiles	Resistencia a los álcalis: Tiene muy buena resistencia a los álcalis fuertes y débiles.	Resistencia a los disolventes orgánicos: Tiene muy buena resistencia a los disolventes orgánicos.	Absorción de agua: Absorbe débilmente el agua.	Resistencia al oxígeno: Su resistencia frente a la oxidación a 500 °C es muy pobre. Tiene mayor sensibilidad a la oxidación al aire que el PE.	Resistencia al ozono: Tiene baja resistencia al ozono y a la luz.

Fuente: (Universidad de Barcelona, 2019)

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

2.1.5. *Reciclaje de plástico*

La conciencia ambiental va en aumento, todos los esfuerzos se centran en proteger el ambiente y siendo el plástico una de las principales causas de su contaminación los científicos buscan un polímero que se caracterice por poseer características más amigables con el ambiente; en la actualidad la mejor solución está en el reciclaje, en reutilizarlos, encontrando nuevas aplicaciones para tanto desecho.

Reciclar forma parte de la conciencia social de un pueblo, asumido como estrategia para la gestión de residuos sólidos, pero no todos los plásticos son reciclables porque al exponerlos a altas temperaturas pueden o no adoptar nuevas formas; así, el polipropileno siendo un plástico reciclable se lo identifica con el número 5 que es el código de identificación de resinas conjuntamente con las siglas PP.

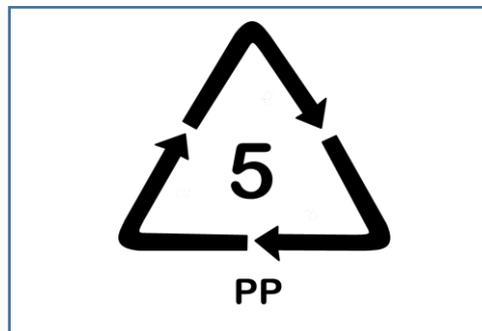


Figura 3-2: Símbolo internacional del reciclaje
Fuente: (INEN 2634, 2012).

2.1.6. *Reciclaje mecánico*

Para el tratamiento del polipropileno a través del reciclado mecánico, se utiliza tanto la presión como el calor de esta manera se va dando forma al plástico para la obtención de otros objetos, sea iguales o distintos de los primeros, se debe señalar que este proceso se aplica a los termoplásticos por ser materiales reciclables por naturaleza (Rivera, 2014).

2.1.7. *Extrusión*

La palabra extrusión proviene del latín “extrudere” que significa obligar a que un material determinado pase por un orificio, por lo que la extrusión es un proceso que, a través de un proceso

de presión, pasa el plástico por un orificio en el que se funde para posteriormente ser enfriado (Espinoza, 2015).

También se la puede definir como un mecanismo para el moldeo de polímeros, similar al señalado anteriormente, en el cual se empuja el plástico con la ayuda de un tornillo, hacia la boquilla abierta, a diferencia del anterior la extracción se puede utilizar moldes a vacío y aire a presión. (Rivera, 2014).

2.1.7.1. Tipos de Extrusión

Los tipos de extrusión según Avendaño, S (2016) son las siguientes:

- Extrusión coaxial, en la que se dos materiales se extrusionan, uno sobre el otro, se hace necesario la utilización de dos matrices, se la emplea para revestimientos.
- Extrusión en frío, es económica, siendo necesario un material muy dúctil, se la utiliza generalmente para tratar materiales como el plomo, estaño, aluminio, cobre, circonio, titanio, molibdeno, berilio, vanadio, niobio y acero.
- Extrusión caliente, se la realiza con la utilización de temperaturas elevadas mientras el material paso por el troquel, la mayor parte se la realiza con presiones entre 30 a 700Mpa.
- Extrusión directa o también conocida como delantera, su mecanismo consiste en la ubicación de una barra que es empujada por el camero o tronillo al interior del troquel reforzado para soportar altas presiones.
- Extrusión indirecta, o retardada, el movimiento es tanto de la barra como el contenedor, solamente el troquel se mantiene estático; de esta manera la fricción es eliminada.
- Extrusión hidrostática, consiste rodear a la barra con líquido sometido a presión, excepto en el lugar o sitio de contacto de la barra con el troquel. El líquido puede ser agua o aceite.
- Extrusión continua, se da cuando es constante la producción.
- Extrusión discontinua, cuando el proceso tiene un lapso de espera en su producción.

2.1.8. Moldeo por inyección

Una de las técnicas más comunes para moldear los polímeros es el de inyección, que consiste en empujar la resina plástica por medio de un tornillo denominado sin fin dentro o al interior de una denominada cámara de calentamiento, en la que “la resina se ablanda fluidificándose y homogeneizándose”.

Al final de la cámara se encuentra una boquilla por donde sale el plástico fluido, utilizándose un molde para su enfriado, solidificándose aceleradamente, para lo cual se tiene que ir retirando sea de forma manual o mecánicamente, retirado el plástico del molde se lo vuelve a utilizar para recolectar nuevamente el plástico fluido de la boquilla, el molde puede tener diferentes formas como para la obtención de muestras para someter a pruebas de laboratorio o directamente la obtención de productos como vasos, peines u otros objetos (Rivera, 2014).

2.1.9. Materiales compuestos reforzados con fibras

Tecnológicamente, los materiales compuestos más importantes son los que contienen fases dispersas en forma de fibras. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibra con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez con baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros de resistencia específica y de módulo específico, que corresponden, respectivamente, a los cocientes entre la resistencia a la tracción y la densidad, y entre el módulo elástico y la densidad. Seleccionando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se obtienen compuestos reforzados con fibras que tienen valores de resistencia y módulo elástico específico excepcionalmente elevados (Callister, 2016).

El polipropileno por ser un polímero con múltiples propiedades su utilización es generalizada y cotizada en el mercado, centrándose investigaciones en el mejoramiento de sus propiedades, con la utilización de compuestos que refuercen sus características para lo cual es muy utilizado las fibras vegetales denominadas fibras de base de celulosa, más amigables con el medio ambiente, a la vez reemplaza a fibras sintéticas. Su mezcla crea un compuesto que contiene una matriz polímera más fibra vegetal, siendo esta última más termoestable.

2.1.10. Fibra de Abacá

El abacá es una fibra vegetal que posee múltiples propiedades que permiten ser mezcladas con el polipropileno, entre las más generales se encuentra su dureza y a la vez su flexibilidad; propiedades que superan al cáñamo común que es más suave. El abacá posee baja concentración de acidez natural, sus células son cilíndricas y la superficie de las mismas se caracteriza por ser más lisas. Quevedo (2019), señala que el abacá posee una gran resistencia a la tracción e inclusive se alarga menos que otras fibras cuando se la expone a temperaturas húmedas y secas.

De acuerdo a Textile Learner (2018, p.12) “Posee gran resistencia mecánica, flotabilidad, daño al agua salada y la presencia de acidez cuando es utilizada como la parte nuclear de un cable, posee gran regularidad en su anchura”. Posee un brillo natural, el color depende del sitio de cultivo, aunque la fibra de color blanco de este material se ha dado a notar que posee mejor validez siendo de estructura muy fuerte.

2.1.11. Fibra de Plátano

Torres & Vera (2015) señalan entre otras propiedades de la fibra de plátano las siguientes:

- Su composición química es de hemicelulosa, celulosa, lignina.
- Fibra fuerte, resistencia alta y ligera en peso.
- Alargamiento pequeño
- Brillante dependiendo de su extracción y proceso de giro.
- Biodegradable.
- El máximo esfuerzo de tracción es de 18.7 MPa y El máximo esfuerzo de flexión es de 58.60 MPa (Armas et al. 2016).

En una publicación de la Agencia de Noticias de la U. Nacional (2015) se afirma que la fibra de plátano ha sido comparada como el bambú, a pesar que la de banano posea mayor flexibilidad y resistencia al tiro. Las fibras de plátano poseen mucha resistencia, flexión y durabilidad que pueden mejorar las propiedades de otros productos al mezclarse.

2.1.12. Ensayos mecánicos para plástico

Los ensayos más comunes que se realizan a los plásticos son los siguientes:

2.1.12.1. Ensayo de tracción

Se aplican esfuerzos axiales de tracción a una probeta normalizada determinando la resistencia y deformación de la misma (Borrás et al. 2016).

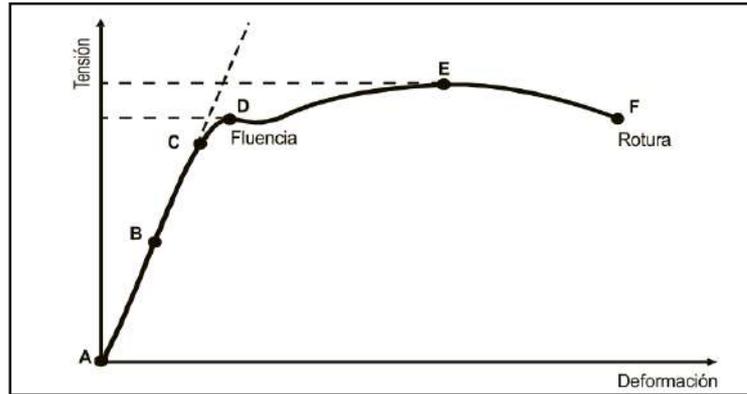


Figura 4-2: Curva Deformación -Tensión para pruebas de Tracción.

Fuente: Borrás et al. 2016.

2.1.12.1. Ensayo de Flexión

Se coloca la probeta sobre dos soportes distanciados según norma y se aplica una carga sobre el centro. Se desplaza la probeta registrando valores de flecha y esfuerzo. El esfuerzo de flexión se realiza en un eje perpendicular y están implicados esfuerzos de tracción y de compresión. (Borrás et al. 2016).

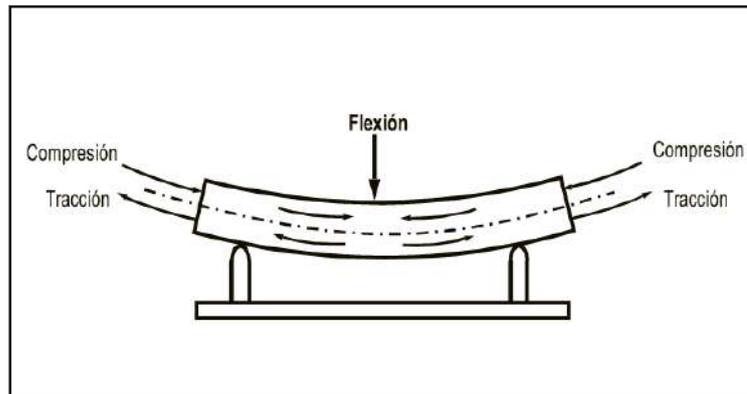


Figura 5-2: Curva Deformación -Tensión para pruebas de Tracción.

Fuente: Borrás et al. 2016

2.1.12.3. Ensayo de Compresión

Se comprime una probeta a lo largo de su eje mayor a una velocidad constante, aplicando una carga determinada sobre su superficie hasta que la probeta rompa o hasta que se alcance un valor de deformación previamente establecido. Se registra la deformación y el esfuerzo, y generalmente se obtienen curvas semejantes a las de tracción según las probetas rompan o alcancen su punto de fluencia (Borrás et al. 2016).

2.1.12.4. *Ensayo de Fluencia*

Se estudia la dependencia del comportamiento esfuerzo-deformación, respecto del tiempo cuando se prolonga mucho la dirección del esfuerzo. El ensayo de fluencia se puede realizar aplicando esfuerzos de flexión, tracción o compresión, aunque la más habitual de todas es la de tracción (Borrás et al. 2016).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El presente, es un trabajo de tipo técnico, que frente la problemática de consumo y sobreproducción de plástico, en conjunto con el conocimiento teórico y práctico, propone utilizar residuos de polipropileno injertados con fibra natural a través de la extrusión de los mismos, en la industria.

El estudio en primera instancia es exploratorio, esto es para la determinación de las fibras que se va a emplear en el estudio, considerando su accesibilidad y bajo costo, así como también para establecer la matriz de material de plástico, tomando en cuenta la resistencia química, densidad y estructura molecular.

El siguiente estudio es cuasiexperimental ya que no posee la característica de la aleatorización, para posteriormente ser un estudio descriptivo/comparativo y finalmente explicativo.

3.2. Métodos y Técnicas

3.2.1 Métodos

- **Método inductivo:** Por medio de este método basado en partir de lo general hacia conclusiones específicas debido a premisas particulares existentes, se estudia la posibilidad de injertar a los residuos de polipropileno con fibras naturales a través de la extrusión, que permita dar frente a la problemática ambiental por el consumo excesivo de plástico, generando al mismo tiempo una alternativa de aprovechamiento de recursos para la industria, considerando los estudios desarrollados previamente en este ámbito que garantizan un mejoramiento en las propiedades mecánicas de las probetas de polipropileno al insertar la fibra.

- **Método deductivo:** Para la obtención de probetas de polipropileno injertadas con fibra que cumplan con la norma INEN 2043:2013, se deben controlar las diferentes variables de proceso como son la temperatura, concentración de la fibra, concentración de acoplante, y rpm, para establecer las condiciones adecuadas que se aplicarán durante los ensayos, dependiendo de las variables que participen en los mismos.
- **Método experimental:** Se aplica dos perspectivas para la realización de este método, como son el porcentaje en peso de la fibra y la concentración del agente de acoplamiento, para conocer la influencia que tiene cada una de ellas en sus diferentes variaciones, en cuanto a las propiedades mecánicas de cada probeta, mismas características que se obtienen por medio de pruebas mecánicas, físicas y de interfaz.

3.2.2. Técnicas

Las técnicas empleadas para el correcto desarrollo del presente trabajo son basadas en las normas que rigen sobre los plásticos para el análisis de sus propiedades mecánicas. Para mayor detalle, las técnicas aplicadas al estudio se especifican a continuación:

Tabla 1.-3: Técnicas para la determinación de propiedades mecánicas de las probetas.

PROPIEDAD MECÁNICA	NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
Resistencia a la tracción	INEN 2043:2013. PLÁSTICOS. RESISTENCIA A LA ROTURA POR TRACCIÓN.	La norma establece el método para determinar la resistencia a la rotura por tracción en plásticos en forma de probetas normalizadas bajo condiciones perfectamente definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de ensayo.
Resistencia a la Flexión	INEN-ISO 178. ENSAYOS DE FLEXIÓN PARA PLÁSTICOS	La norma internacional especifica un método para la determinación de las propiedades de flexión de materiales plásticos rígidos y semi-rígidos en condiciones definidas. Se define un tipo de probeta normalizada, pero se incluyen parámetros para utilizar tamaños de

		probetas alternativos, cuando sea apropiado. Se incluye un intervalo de velocidades de ensayo.
Resistencia a la compresión.	INEN-ISO 604. PLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN COMPRESIÓN	La Norma Internacional especifica un método para determinar las propiedades de compresión de los plásticos en condiciones definidas. Se define una probeta normalizada, pero su longitud puede ajustarse para prevenir que el pandeo bajo carga afecte a los resultados.

Fuente: INEN

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

La normativa sobre la que se basan las dimensiones del molde para las probetas de PP con fibra es la INEN 2043:2013.

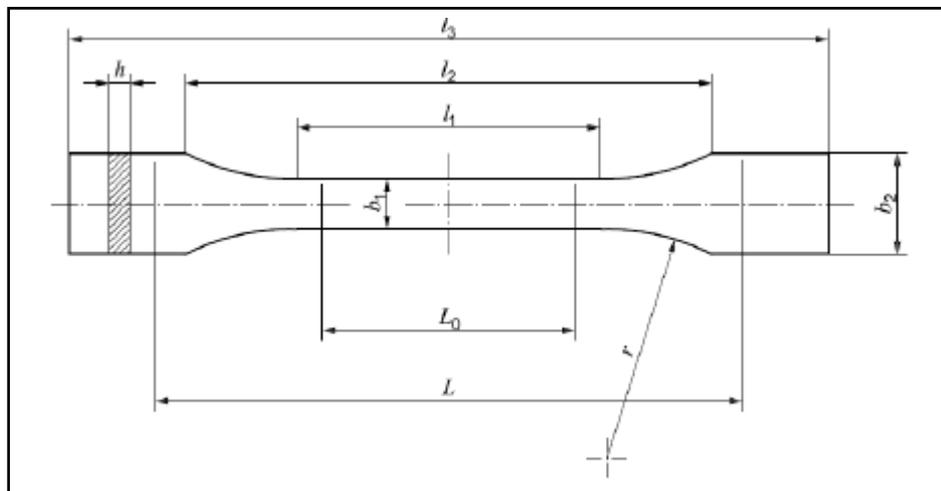


Figura 6-3: Molde de Probeta Tipo B para plástico reforzado con fibra vegetal.

Fuente: INEN 2043:2013

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

I_3 = Longitud total mínima 150

b_1 = Anchura en los extremos $20 \pm 0,5$

I_1 = Longitud de la parte calibrada $60 \pm 0,5$

I_2 = Distancia inicial entre mandíbulas 115 ± 5

e = Espesor: Preferido: 4mm

Máximo: 10 mm

Se debe tener en consideración que las probetas obtenidas con este molde se pueden realizar los ensayos de Resistencia a la Tracción y Flexión. Para la prueba de Compresión se toma un cilindro de acero inoxidable como molde, que posea la altura 3 veces el tamaño del diámetro, como mínimo un diámetro de 1 pulgada.

3.3. Acondicionamiento de la materia prima.

3.3.1. Fibra

El acondicionamiento de las materias primas, en este caso para las fibras, abarca el proceso desde la recolección en campo, hasta el corte y mezcla de las mismas con el polipropileno.

Tabla 2-3: Obtención de la Fibra de Abacá

Material	Equipos
Vaina de las hojas que rodean el tronco de la planta de abacá (<i>Musa textilis</i>).	Machete Cuchillos
Procedimiento	
a) Deshojar y despuntar los tallos que están listos para cosechar. b) Los tallos seleccionados se cortan aproximadamente de unos 10 a 15 cm del suelo, con un corte oblicuo. c) Se procede a separar las vainas que lo rodean y luego con un cuchillo, se cortan en tiras de 5-8 cm de ancho por 2-4 cm de espesor, considerando que la longitud quedará determinada por el tamaño del tallo. d) Se agrupan las tiras y se forman varios bultos. e) El desfibrado deberá realizarse antes de las 10 horas a partir de lo que se haya realizado el corte del tallo, con el fin de que no se degrade la fibra. Esta operación se conduce por medio de un juego de cuchillos colocados en un armazón de madera. f) La fibra obtenida tiene un alto porcentaje de humedad, por lo que se hace necesario secarla a temperatura ambiente. El tiempo de secado de la fibra puede ser horas o días dependiendo de las condiciones climatológicas existentes en ese momento. Paralelamente a esta actividad se va realizando una clasificación preliminar de acuerdo al color que presenta la fibra. g) Luego del secado, la fibra se la conserva en un lugar seco con cubierta y ventilación.	

h) Para su aplicación en el proceso, se realiza cortes de la fibra que varíe de 4 a 6 mm de longitud.

Fuente: Conde (n.d.)

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

Tabla 3-3: Obtención de la Fibra de Plátano.

Material	Equipos
Pseudotallo de la planta de Plátano	Machete Cuchillos
Procedimiento	
a) Realizar un corte diagonal en la base del Pseudotallo o vástago de la planta de Plátano.	
b) Retirar manualmente una a una las capas obtenidas del Pseudotallo, a estas se les procede a sacar sus capas internas.	
c) Se procede a retirar la fibra manualmente, considerando los siguientes aspectos:	
- La fibra que se obtiene de la segunda capa del Pseudotallo, es la fibra suave, es decir de fácil manejo y manipulación.	
- La fibra que se obtiene de la tercera capa del Pseudotallo, su textura peculiar tiene una especie de entramado, por lo que se la conoce como fibra malla.	
- La fibra proveniente de la cuarta capa del tallo es la que será la usada en el presente proyecto, debido a que es la más resistente.	
d) Las fibras obtenidas se las lleva a un proceso de secado al ambiente, tardará horas o días en secar dependiendo las condiciones climáticas del mismo.	
e) Luego del secado, la fibra se la conserva en un lugar seco con cubierta y ventilación.	
f) Para su aplicación en el proceso, se realiza cortes de la fibra que varíe de 4 a 6 mm de longitud.	

Fuente: Torres, P. 2013

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

3.3.2. Polipropileno reciclado

En primera instancia se realiza una visita a las 3 recicladoras que más aceptan material en la ciudad de Riobamba, el modo de clasificación de los plásticos no es igual en todas las recicladoras. El polipropileno para este proyecto se muestrea de la recicladora “Juanita” vía a Cerro Negro, puesto que posee un proceso más tecnificado y se clasifica según el tipo de plástico. Para verificar que el material es 100% PP se procede a tomar una muestra representativa del

material reciclado para realizar un análisis de Espectrofotometría Infrarroja y la prueba de solubilidad.

Debido a que el polipropileno que se va a emplear procede de diferentes residuos, primero pasa por un lavado con agua para eliminar arena y suciedad incorporada al material, una vez limpio el material se lo seca a temperatura ambiente y se verifica el proceso de secado realizando una prueba de humedad y que no supere el 3%. Previo a ingresar el material a la extrusora se realiza una clasificación por tamaño, el cual se determina de 1,5 cm, los que poseen mayor tamaño se los tritura nuevamente.

3.4. Procedimiento de la extrusión

3.4.1. Mezcla con fibra

Para poder realizar el refuerzo con la fibra vegetal se ha tomado en cuenta cáscara de plátano y abacá ya que Ecuador es productor mundial de estas dos especies y la manejabilidad que posee la fibra es apropiada para aplicarla en este tipo de procesos, otro aspecto que se tomó en consideración es que ambas especies poseen características similares porque son procedentes de la misma familia Musáceas haciendo factible su comparación.

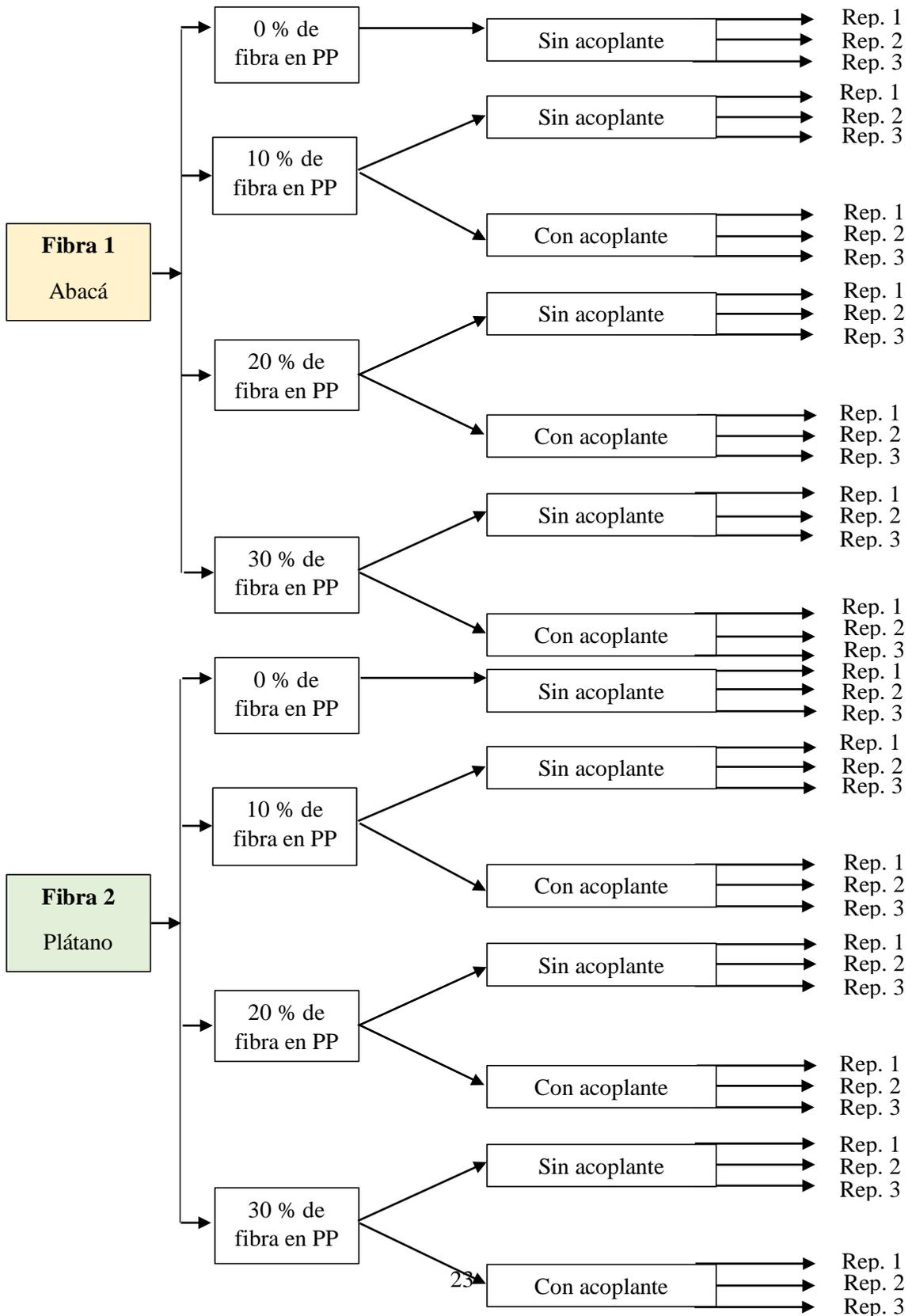
Tabla 4-3: Propiedades de las fibras.

Fibra	Densidad (g/ml)	% Celulosa	% Lignina	% Hemicelulosa	% Elongación	Módulo de Young [GPa]	Referencia
Banano	1.5	60-65	5-19	6-19	2.0-6.0	27-32	(Guimarães, J.L., et al., Characterization of banana, sugarcane bagasse, 2009). 30(3): p. 407-415.
Abacá	1.3 - 1.45	60.8-64	12-15.1	17.5-21	3.4-11.1	9.8-35.1	(Koronis et al., 2013; Baltazar-y-Jimenez et al., 2008; Munawar et al., 2006; Lewin, 2007)

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

3.5. Diseño del experimento

La obtención de las probetas de fibra con los residuos de polipropileno será con variantes en la concentración de fibra y acoplante de la siguiente manera:



3.6. Variables del proceso

Las variables de proceso que se consideran para llevar a cabo la correcta obtención de probetas de PP con fibra vegetal son:

- Concentración de fibra
- Concentración de agente acoplante
- Temperatura

3.6.1. Concentración de fibra

Dependiendo de la concentración de fibra que se aplique a la muestra de PP, las propiedades físicas, mecánicas, y de interfaz van a ser diferentes. Es por ello que se plantea tres concentraciones de ambas fibras para cada ensayo.

3.6.2. Concentración de agente acoplante

Existen estudios previos que respaldan la presencia de un agente de acoplamiento como parte de la mezcla de PP, cuya función es mejorar la adhesión y la dispersión de la fibra en el plástico. (Kim et al. 2015).

3.6.3. Temperatura

Cuando se trabaja con PP virgen por extrusión este tiene su punto de fusión a los 173° C, en este caso al trabajar con PP reciclado y adicionarlo a fibra natural las temperaturas a considerar oscilan entre 165–200 ° C. También se debe mantener el proceso de extrusión a temperaturas que no superen los 200°C, para evitar la descomposición de la lignina, lo que puede ocasionar el deterioro de la resistencia de las fibras (Bledzki et al. 2015).

3.6.4. Determinación de los perfiles de temperatura y velocidad del tornillo

Este procedimiento se realiza para eliminar las diferentes temperaturas y velocidades de tornillo que no hacen factible una buena obtención de probetas, para estandarizar todo el proceso y así descartar estas variables. Para ello se trabaja con tres variantes en las temperaturas del tornillo, estimadas en el rango de 160 a 200 °C, datos sugeridos en estudios previos similares al presente trabajo. Tomando en cuenta como factor determinante la facilidad de trabajo y el grado de fluidez que toma el PP en conjunto con la fibra sin quemarse. En la tabla 3 - 6 se plantean las diferentes combinaciones en las temperaturas a lo largo del tornillo extrusor.

Tabla 5-3: Determinación de perfiles de temperatura (°C).

PRUEBA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA
	1 (dosificación)	2 (transición)	3 (alimentación)	4 (alimentación)
1	180	160	170	160
2	175	175	175	150
3	195	180	180	175

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En conjunto con el análisis de la temperatura en el proceso, se realiza variaciones en la velocidad del tornillo que van de 80 a 500 rpm.

La determinación de los perfiles de temperatura y la velocidad de tornillo, vendrá regido por el estado de las probetas obtenidas, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Estado de la fibra

Cuando la temperatura sobrepasa los límites que resiste la fibra, o si la velocidad del tornillo es baja, tiende a quemarse y a tomar un aspecto grisáceo a negro, esto se aprecia a simple vista al obtener la probeta. Además, se evaluará la dispersión apropiada de la fibra en el plástico.

- Estado del PP

Las probetas deben a simple vista, dar a notar la fundición total del PP, sin que se formen burbujas de aire, o que se torne demasiado líquido con liberación excesiva de gases, debida a las altas temperaturas en todo el tornillo extrusor.

Para establecer la prueba ideal para usarla en el estudio, los resultados se basan en las siguientes ponderaciones:

Tabla 6-3: Valoraciones para resultados observados en las probetas.

CARACTERÍSTICAS	VALORACIONES		
	Estado de la fibra	Original	Grisáceo/ Negro
1		0	
Fundición del PP	Total	Parcial	
	1	0	
Formación de burbujas de aire	Escasa	Media	Excesiva
	2	1	0
Emanación de gases	Escasa	Media	Excesiva
	2	1	0
Flujo	Continuo	Discontinuo	
	1	0	

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

3.7. Obtención de Probetas

Una vez determinados los perfiles de temperatura y la velocidad del tornillo, aptos para realizar los ensayos de PP con fibra se procede de la siguiente forma:

Sustancias y reactivos

- Fibras de Abacá y Plátano
- Anhídrido ftálico
- Polipropileno

Materiales y equipos

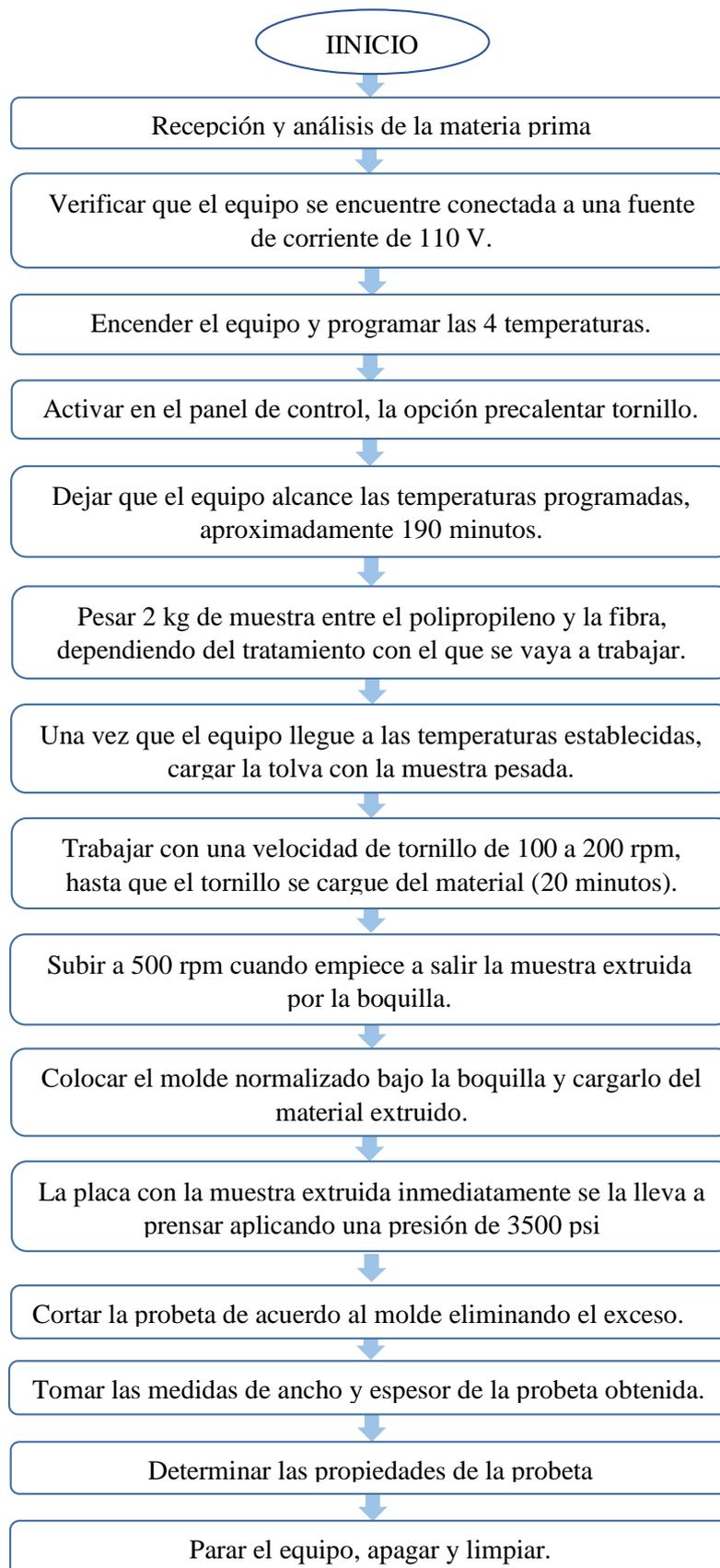
- Extrusora
- Balanza
- Placa metálica

Procedimiento

- Verificar que el equipo se encuentre conectada a una fuente de corriente de 110 V.
- Encender el equipo y setear las 4 temperaturas a lo largo del tornillo, a las que se va a trabajar, considerando que las temperaturas 3 y 4 pertenecen a zona de alimentación, temperatura 2 zona de transición, y temperatura 1 zona de dosificación.

- Activar en el panel de control, la opción precalentar tornillo.
- Dejar que el equipo alcance las temperaturas programadas, aproximadamente 190 minutos.
- Pesar 2 kg de muestra entre el polipropileno y la fibra, dependiendo del tratamiento con el que se vaya a trabajar.
- Una vez que el equipo llegue a las temperaturas establecidas, cargar la tolva con la muestra pesada.
- Trabajar con una velocidad de tornillo de 100 a 200 rpm, hasta que el tornillo se cargue del material en un tiempo aproximado de 20 minutos.
- Subir a 500 rpm cuando empiece a salir la muestra extruida por la boquilla.
- Colocar el molde normalizado bajo la boquilla y cargarlo del material extruido.
- La placa con la muestra extruida inmediatamente se la lleva a prensar hasta 3500 psi.
- Cortar la probeta de acuerdo al molde eliminando el exceso.
- Tomar las medidas de ancho y espesor de la probeta obtenida.
- Determinar las propiedades de la probeta, comparando con un estándar de polipropileno reciclado.
- Cuando haya consumido toda la tolva de alimentación, poner en 0 rpm.
- Parar el equipo, apagar y limpiar.

3.7.1. Diagrama de Proceso



3.8. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.

Tabla 7-3: Características y descripción de los equipos.

EQUIPO	CANTIDAD	FUNCIÓN
Extrusor	1	Extruir las muestras de polipropileno reciclado con fibra y acoplante.
Equipo de seguridad	1	Salvaguardar la integridad personal.
Cuchillos	2	Realizar cortes de la fibra
Machete	1	Cortar el Pseudotallo y vaina de las plantas de Plátano y Abacá respectivamente.
Máquina Universal de ensayos – WAW600B	1	Medir la resistencia a la Flexión de las probetas
Máquina Universal de ensayos – WAW600B	1	Medir la resistencia a la Tracción de las probetas
Máquina Universal de ensayos – WAW600B	1	Medir la resistencia a la compresión de las probetas
Microscopio eléctrico de Barrido	1	Analizar la adhesión interfacial fibra /matriz, además, la distribución del sustrato en la matriz.
Espectrofotómetro de infrarrojo (FTIR)	1	Identificar los grupos funcionales de materiales orgánicos en el plástico.

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

3.9. Análisis del costo/beneficio del proyecto.

3.9.1. Análisis de costos de materias primas, insumos e instrumentos de laboratorio

Tabla 8-3: Costo de realización del proyecto.

Nº	Actividad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)	Fuente de financiamiento	
					Interna	Externa
Previo al desarrollo del proyecto						
1	Diseño del anteproyecto y aprobación.	-	-	9		
Desarrollo del proyecto						
2	Obtención de la materia prima (plástico).	50 kg	0.7	35		
3	Obtención de fibra de Abacá	10 kg	1,20	12		
4	Obtención de fibra de plátano	10 kg	1,20	12		

5	Realización de placa base	1	80	80		
6	Anhídrido ftálico	1 kg	2,75	2,75		
Final del proyecto						
7	Preparación del material de presentación	-	-	10		
8	Defensa del trabajo final	-	-	40		
9	Redacción, revisión e impresión del trabajo de titulación	-	-	20		
Subtotal				220,75		
Imprevistos				10%		
Total				241,825		

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

3.9.2. Análisis de costo de pruebas mecánicas

Tabla 9-3: Costo de pruebas mecánicas

N°	Prueba	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)	Fuente de financiamiento	
					Interna	Externa
1	Resistencia a la Tracción	27	10	270		
2	Flexión	27	6	162		
3	Compresión	27	10	270		
Subtotal				702		
Imprevistos				30		
Total				732		

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

3.10. Cronograma de ejecución del proyecto.

Actividad	Tiempo de duración																											
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Declaración del tema de investigación	■	■																										
Establecer los tratamientos que debe tener cada fibra previa a ser procesada con polipropileno en la extrusora.			■	■	■																							
Determinar los perfiles de temperatura frente a los cuales se producirá la extrusión del polipropileno reciclado en conjunto con la fibra.						■	■	■																				
Realizar pruebas con la implementación del polipropileno reciclado injertado con y sin anhídrido ftálico como agente acoplante y sus correspondientes fibras.									■	■	■	■	■	■	■	■												
Realización de pruebas físicas y mecánicas en las probetas.																		■	■	■								
Elaboración de borradores																		■	■	■	■	■						
Corrección de borradores																												
Redacción del trabajo final	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Auditoría académica																											■	
Defensa del trabajo final																											■	
Revisión, impresión y empastado del trabajo de titulación																												■

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de materia prima.

Este estudio se realizó con Polipropileno reciclado, razón por la cual se analiza por medio de Espectroscopia Infrarroja para verificar si en su composición tiene mayoritariamente PP, ya que no se puede asumir directamente que tenga el mismo comportamiento que el PP virgen.



Gráfico 1-4: Resultado FTIR del Polipropileno Reciclado.

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

Los picos entre 3000 - 2800 cm^{-1} (1 y 2) corresponden a movimientos de tensión de los enlaces - CH_3 , - CH_2 y C-H que son indicativos de especies alifáticas; el rango entre 1465 y 1376 (3) representan a picos con vibraciones de flexión entre C-H alifáticas, consecuencia de la presencia de compuestos alifáticos lineales que se van formando por la escisión del enlace beta del polipropileno isotáctico. En 1450-1350 cm^{-1} (4) indica movimientos de tensión C-C. El pico entre 1200-1000 cm^{-1} corresponde a movimientos de flexión de - CH_3 . El pico entre 642 y 715 cm^{-1} (5) representa modificaciones cíclicas C-H que aluden deformaciones aromáticas o puede representar también a grupos - CH_2 divididos por la interacción en largas cadenas moleculares.

4.2. Condiciones de procesamiento

Mediante diferentes experimentaciones se pudo obtener los perfiles adecuados de temperatura en conjunto con la velocidad del tornillo, mismos que arrojaron diferentes resultados basados en las características cualitativas de las probetas.

Tabla 1- 4: Características cualitativas en probetas para determinación de temperatura y velocidad de tornillo.

PRUEBA	CARACTERÍSTICAS	VELOCIDAD DEL TORNILLO				
		80 rpm	150 rpm	200 rpm	300 rpm	500 rpm
1	Estado de la fibra	1	1	1	1	1
	Fundición del PP	1	1	1	1	1
	Formación de burbujas de aire	1	1	1	1	1
	Emanación de gases	2	2	2	2	2
	Flujo	0	0	0	0	0
	TOTAL	5	5	5	5	5
2	Estado de la fibra	1	1	1	1	1
	Fundición del PP	1	1	1	1	1
	Formación de burbujas de aire	1	1	1	2	2
	Emanación de gases	2	2	2	2	2
	Flujo	0	0	1	1	1
	TOTAL	5	5	6	6	7
3	Estado de la fibra	0	0	0	0	0
	Fundición del PP	1	1	1	1	1
	Formación de burbujas de aire	0	0	0	0	0
	Emanación de gases	0	0	0	0	0
	Flujo	0	1	1	1	1
	TOTAL	1	2	2	2	2

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En base a los resultados obtenidos, se aprecia que aplicando los perfiles de temperatura planeados en la prueba 2, y llevando una velocidad de tornillo a 500 rpm, las características cualitativas de las probetas son las más altas considerando el estado de la fibra, la fundición total del PP, la no formación de burbujas de aire, una escasa emanación de gases y el flujo del material extruido. En la prueba 1 la principal dificultad es el flujo no continuo, provocando que no sea factible la realización de probetas. La prueba 3 tuvo una excesiva formación de burbujas de gas de descomposición del plástico y la fibra se quemó debido a la alta temperatura. La velocidad del

tornillo establecida está acorde al proceso ya que el flujo se mantiene continuo y no se quema la fibra tal como sucede cuando las revoluciones son inferiores como fue el caso de 80, 150 y 200 rpm. Pese a que en estudios anteriores con estos materiales se han trabajado con variantes de 40 a 80 rpm. las condiciones son diferentes por las características del equipo (Bledzki, 2015).

4.3. Factibilidad de la fibra para el proceso

Al incluir la fibra de plátano y Abacá al 10 y 20 % el proceso de extrusión fluye sin ningún inconveniente, mientras que al 30% de fibra el tornillo extrusor presenta atascamiento en el tornillo tanto en la zona de alimentación como en la de transición debido al volumen de las fibras, acorde a estudios anteriores que presentan problemas de alimentación de las fibras de celulosa en la extrusora cuando el contenido de fibra excedía el 20% en peso (Teaca et al. 2018).

4.4. Rendimiento del Proceso

Por cada tolva de alimentación, ingresan 2000 gr de mezcla.

2000 gr mezcla	=	22 probetas
Masa promedio por probeta	=	30gr
(30 gr * 22)	=	660 gr

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{masa promedio probetas}}{\text{masa total alimentada}}$$

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{660 \text{ gr}}{2000 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{660 \text{ gr}}{2000 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$\text{rendimiento} = 33\%$$

El bajo rendimiento obtenido se justifica por la metodología seguida, al no contar con un número de moldes para trabajo continuo genera un desperdicio en el proceso. No obstante, los residuos de la extrusión se las puede nuevamente triturar con el fin de reutilizarlas en el proceso,

considerando que fue sometido a altas temperaturas las características y propiedades van a variar a la calidad de PP reciclado.

4.5. Validación de ensayos

Para comprobar si las probetas pertenecen a una misma población o si no hay una diferencia significativa entre las diferentes muestras obtenidas se empleó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el método Tukey, en el software de análisis estadístico InFostat.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Columna2	135	0.08	0.02	5.09	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.96	8	0.12	1.42	0.1946
Columnal	0.96	8	0.12	1.42	0.1946
Error	10.66	126	0.08		
Total	11.62	134			
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.33014					
Error: 0.0846 gl: 126					
Columnal	Medias	n	E.E.		
E4	5.59	15	0.08	A	
E3	5.59	15	0.08	A	
E2	5.67	15	0.08	A	
E5	5.69	15	0.08	A	
E7	5.71	15	0.08	A	
E6	5.73	15	0.08	A	
E8	5.77	15	0.08	A	
E1	5.82	15	0.08	A	
E9	5.85	15	0.08	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Gráfico 2-4: Análisis ANOVA – Método Tukey.

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

El p-valor que arroja la prueba estadística es de 0.1946 por lo tanto, al ser ($p > 0.05$), con el método Tukey se concluye que no existen diferencias significativas entre los valores que caracterizan a cada probeta en ancho y espesor, comprobando de esta manera que todas las muestras se encuentran estandarizadas.

4.6. Resultados en Pruebas

Para cada ensayo se otorgó una letra para facilitar el manejo de datos.

Tabla 2-4: Asignaciones para las muestras empleadas.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
PP	ABACÁ				PLÁTANO			
	10%		10%		20%		20%	
	s/a	c/a	s/a	c/a	s/a	c/a	s/a	c/a

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

4.6.1. Resultados de la Resistencia a la Tracción

- *Polipropileno reciclado*

Tabla 3-4: Resultados de resistencia a la tracción en Polipropileno

Pruebas	Unidad	A
Módulo de elasticidad	MPa	9,0
Esfuerzo de Fluencia	MPa	9,00
Esfuerzo máximo	MPa	13,68
% de Elongación	-	1,00

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

La Tabla 3-4 muestra las propiedades de las probetas de residuos de PP donde el módulo de elasticidad de 9 MPa indica la rigidez del material, siendo mayor el módulo de elasticidad cuando el material es más rígido; el esfuerzo de Fluencia considerado el parámetro más relevante, para la probeta A es de 9MPa sin sufrir deformación que se puede atribuir debido al reproceso que está sufriendo el plástico; el esfuerzo máximo soportado dio 13,68 MPa. Mientras que el 1% de elongación muestra la poca ductibilidad o alta fragilidad del material debido a su condición de reciclado y los tratamientos que sufre el material para su moldeado inicialmente. Como se aprecia en el ANEXO F, el fraccionamiento de la probeta durante el ensayo de tracción es perpendicular lo que indica una estructura ligeramente frágil, donde no existió una apreciable deformación antes de la ruptura.

- *Composite con Fibra de Abacá*

Tabla 4-4: Resultados de resistencia a la tracción con fibra de Abacá.

Pruebas	Unidad	B	C	D	E
Módulo de elasticidad	MPa	8,30	8,90	8,10	8,70
Esfuerzo de Fluencia	MPa	9,00	11,00	10,00	11,00
Esfuerzo máximo	MPa	16,64	16,77	14,44	18,4
% de Elongación	-	0,20	3,50	1,42	1,83

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En los ensayos a probetas injertadas con fibra de abacá a una matriz de PP (Tabla 4-4) el módulo de elasticidad en material con 10 y 20% en peso de fibra, incrementan 7 % su valor al agregar el acoplante (anhídrido ftálico) en C y E, haciendo que sea el material más rígido. El esfuerzo de fluencia para las muestras B y D incrementan 18 y 9 % respectivamente, cuando se añade el acoplante en C y E. El esfuerzo máximo para las probetas B y C a pesar de la ausencia o presencia de acoplante la diferencia no es significativa. La probeta se rompe al aplicar una carga de 16.74 MPa, mientras que la probeta E aumenta un 22% en relación a la carga de 14,44 MPa que soporta la probeta D. En cuanto al % de elongación el uso de acoplante aumenta 94 % para B y 22% en D; Las roturas en B, C y D son perpendiculares, no hubo una deformación apreciable (frágiles) y en E su rotura es diagonal o con apariencia de una cavidad, con deformación apreciable (dúctil). Anexo F.

- *Composite con fibra de Plátano*

Tabla 5-4: Resultados de resistencia a la tracción con fibra de Plátano.

Pruebas	Unidad	F	G	H	I
Módulo de elasticidad	MPa	7,70	8,50	8,70	8,70
Esfuerzo de Fluencia	MPa	8,00	9,00	9,00	10,00
Esfuerzo máximo	MPa	15,17	17,77	15,27	17,04
% de Elongación	-	0,20	1,80	0,20	0,41

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En los ensayos con material de PP y fibra de plátano Tabla 5-4, el módulo de elasticidad para F aumenta un 9% con la presencia del acoplante como se aprecia en G, para H e I, no influye la presencia de acoplante en el módulo de elasticidad. El esfuerzo de fluencia tanto para F y H al añadir acoplante incrementan un 11% en las muestras G e I, el acoplante permite que el material ceda frente a una carga mayor. El esfuerzo máximo en las muestras con acoplante G e I aumentan su valor en 15 y 10 % en comparación a F y H respectivamente, resisten un poco más de carga

para su ruptura. El % de elongación en F y H es igual pese a que se trabajó con diferente porcentaje de fibra, pero al añadir el acoplante se ven diferencias significativas como es en G e I, donde incrementa 89 y 51 % para cada muestra. La ruptura en las probetas F, G, H e I son diagonales, formando una pequeña curvatura o cavidad, característica que poseen los materiales dúctiles.

- *Curva Esfuerzo-Deformación de Polipropileno*

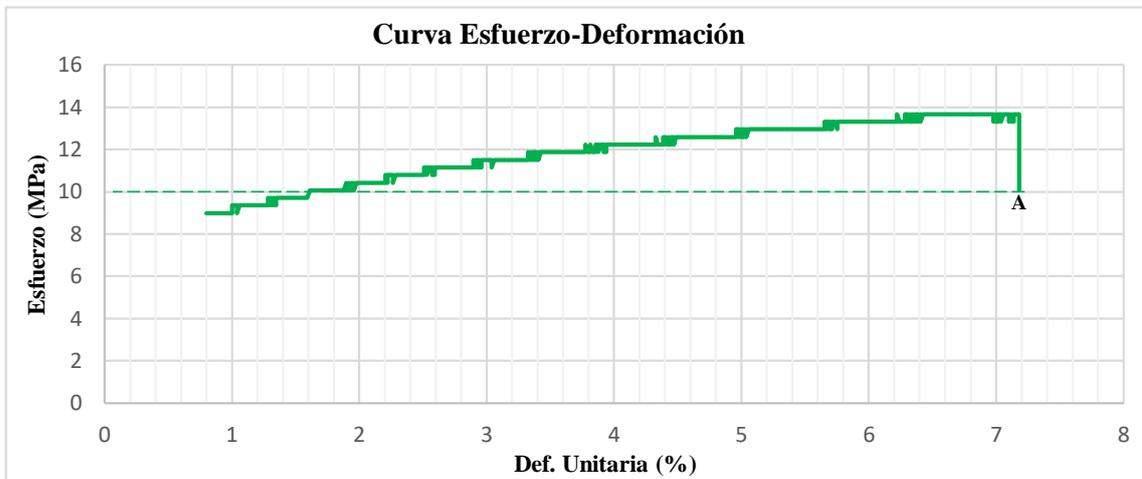


Gráfico 3-4: Curva Esfuerzo-Deformación en PP.

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

El esfuerzo en el punto de rotura para las probetas de PP es de 10 MPa, representada en el Gráfico 2-4.

- *Curvas Esfuerzo-Deformación de Polipropileno con Abacá.*

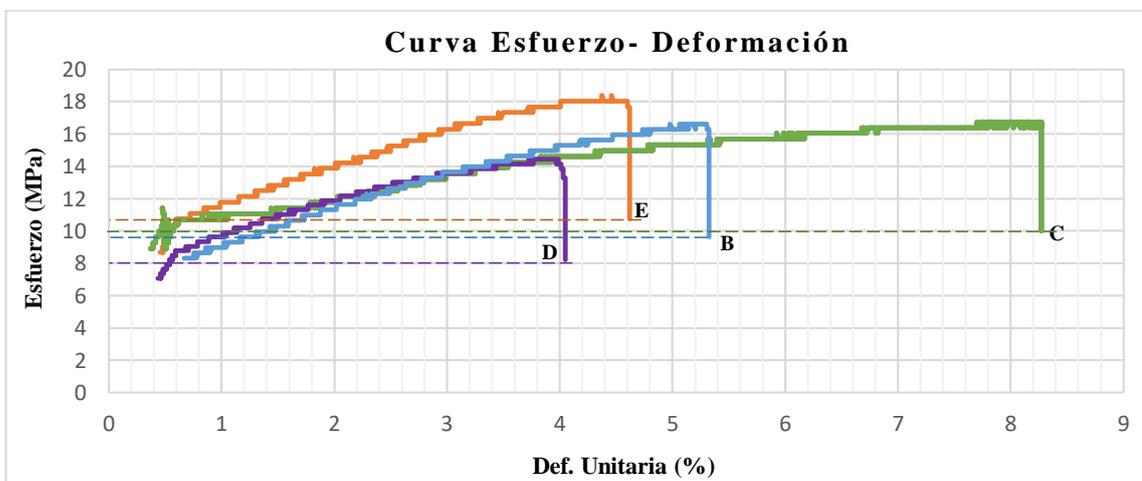


Gráfico 4-4: Curva Esfuerzo-Deformación en PP con Fibra de Abacá.

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

El esfuerzo en el punto de rotura para las probetas que tienen fibra de Abaca injertada a la matriz de PP tal como muestra el Gráfico 4-4, son mayores para los casos que se incluyo acoplante 9.9 MPa al 10% y 10.2 MPa al 20%. Existe una notable variación en el esfuerzo al usar acoplante cuando la muestra tiene 20% de fibra de abacá, donde la resistencia aumenta 2.2 MPa. En muestras con 10% de abacá unicamente aumenta 0.1 MPa, esto se debe a la distribución de la fibra y a la presencia del acoplante, al usar un porcentaje menor no forma una muestra lo suficientemente compacta como para tener mayor resistencia al esfuerzo, el acoplante fortalece la compactación de los materiales, mientras que al emplear mayor fibra y reforzarla con acoplante la muestra se hace más resistente por la distribución y compactación, resultados que corroboran a resultados en artículos anteriores (Sepe et al. 2018).

- *Curvas Esfuerzo-Deformación de Polipropileno con Plátano.*

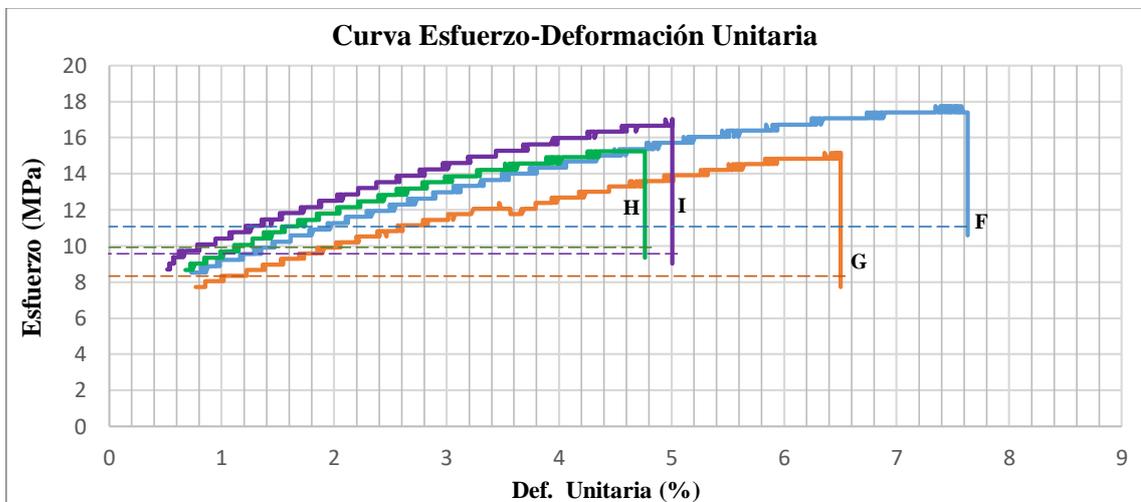


Gráfico 5-4: Curva Esfuerzo-Deformación en PP con Fibra de Plátano.
Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En el Gráfico 5-4 con refuerzo de fibra de plátano, sucede lo contrario con respecto a la fibra de abacá, en las muestras G & I que contienen acoplante poseen resistencias de 7.9 y 8.5 MPa respectivamente, mientras que sus similares F y H, con 10.2 y 8.7 MPa, a pesar de no tener el acoplante su esfuerzo es mayor, la causa de este resultado son las características propias que diferencian a la fibra de plátano en el cual se forman grumos, lo que no provee una buena transferencia de esfuerzos entre la matriz y la fibra (Barrantes et al. 2015).

4.6.2. Resultados de la Resistencia a la Compresión

- *Polipropileno reciclado*

Tabla 6-4: Resultados de resistencia a la compresión de PP.

Pruebas	Unidad	A
Módulo de elasticidad	MPa	141,27
Esfuerzo máximo	MPa	23,51

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

- *Composite con fibra de Abacá*

Tabla 7-4: Resultados de resistencia a la compresión con fibra de Abacá.

Pruebas	Unidad	B	C	D	E
Módulo de elasticidad	MPa	141,74	147,66	141,40	141,82
Esfuerzo máximo	MPa	12,52	14,21	10,21	11,41

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En la Tabla 7-4, al aplicar un ensayo de compresión a las probetas de Abacá aumenta la resistencia al introducir el acoplante tanto para las muestras B y D con 10 y 20 % de peso en fibra. La variabilidad de estos valores es consecuencia de la distribución y acoplamiento que tienen las fibras en la matriz de PP, características que se aprecian en los resultados del SEM. Las probetas con mejor resultado son de la muestra C con 10% de abacá y agente acoplante con un esfuerzo máximo de 14.21 MPa.

- *Composite con fibra de Plátano*

Tabla 8 -4: Resultados de resistencia a la compresión con fibra de Plátano.

Pruebas	Unidad	F	G	H	I
Módulo de elasticidad	MPa	166,85	166,60	161,97	163,58
Esfuerzo máximo	MPa	6,84	10,86	2,45	12,05

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

De la misma manera que ocurre con la resistencia a la compresión para muestras con fibra de abacá en el plátano existe el mismo principio, las muestras G e I que poseen acoplante, incrementan su resistencia en comparación con F y H en 37 y 80 % respectivamente. Las probetas

que presentaron mejor resultado con 12.05 MPa pertenecen a la muestra I con 20% de plátano y agente acoplante.

4.6.3. Resultados de Prueba de Flexión

- *Polipropileno Reciclado*

Tabla 9-4: Resultados de resistencia a la flexión en PP.

Pruebas	Unidad	A
Módulo de elasticidad	MPa	864,19
Esfuerzo de Rotura	MPa	26,27
Flecha en la rotura	mm	19,92

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

- *Composite con fibra de Abacá*

Tabla 10-4: Resultados de resistencia a la flexión con fibra de Abacá.

Pruebas	Unidad	B	C	D	E
Módulo de elasticidad	MPa	1119,81	2005,84	677,47	1767,37
Esfuerzo de Rotura	MPa	16,30	41,39	21,54	29,55
Flecha en la rotura	mm	24,56	14,52	7,77	8,60

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En base a los resultados obtenidos en esfuerzo de rotura para ensayos de resistencia a la flexión en muestras con abacá Tabla 10 -4, las muestras B y D que no contienen acoplante presenta esfuerzos de rotura de 16.30 y 21.54 MPa respectivamente, al analizar C y E incrementan su resistencia debido al anhídrido ftálico agregado. La muestra que posee mayor esfuerzo a la rotura con 41.39 MPa, son las probetas C con 10% de abacá y agente de acoplamiento.

- *Composite con fibra de Plátano*

Tabla 11-4: Resultados de resistencia a la flexión con fibra de Plátano.

Pruebas	Unidad	F	G	H	I
Módulo de elasticidad	MPa	913,81	1155,98	789,74	1071,88
Esfuerzo de Rotura	MPa	22,73	22,74	21,79	22,95
Flecha en la rotura	mm	13,60	13,08	9,09	12,03

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

Los resultados plasmados en la Tabla 11-4, muestran que la presencia de anhídrido ftálico en las muestras G & I no mejoran la resistencia significativamente. La muestra cuyo mayor valor para resistencia a la rotura es la que tiene 20% de plátano y acoplante representados por I.

4.6.4. Resultados de Prueba de Dureza

Tabla 12-4: Resultados de Dureza de todas las muestras

PROBETA	A	B	C	D	E	F	G	H	I
SHORE D	56,50	62,17	63,50	60,00	64,17	57,17	62,33	60,50	62,17

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

La dureza en las probetas, al trabajar con fibra aumenta en comparación con el PP, formando un material más rígido en la escala SHORE D para termoplásticos, mientras mayor sea el valor de la dureza aumenta la rigidez del material (López, 2018).

4.6.5. Microscopia de Barrido

- *Polipropileno Reciclado*

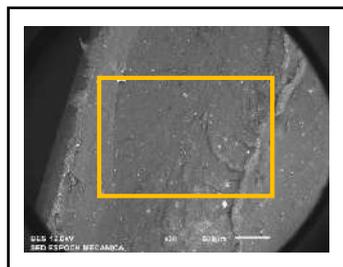


Figura 1-4: Análisis SEM en muestra de PP

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

La Figura 1 – 4, muestra que la superficie de fractura del PP no tiene cavidades, presenta una morfología completamente sólida, tras el análisis de composición se obtuvo que es netamente PP por su alto contenido de C, tal como indica el gráfico a continuación:

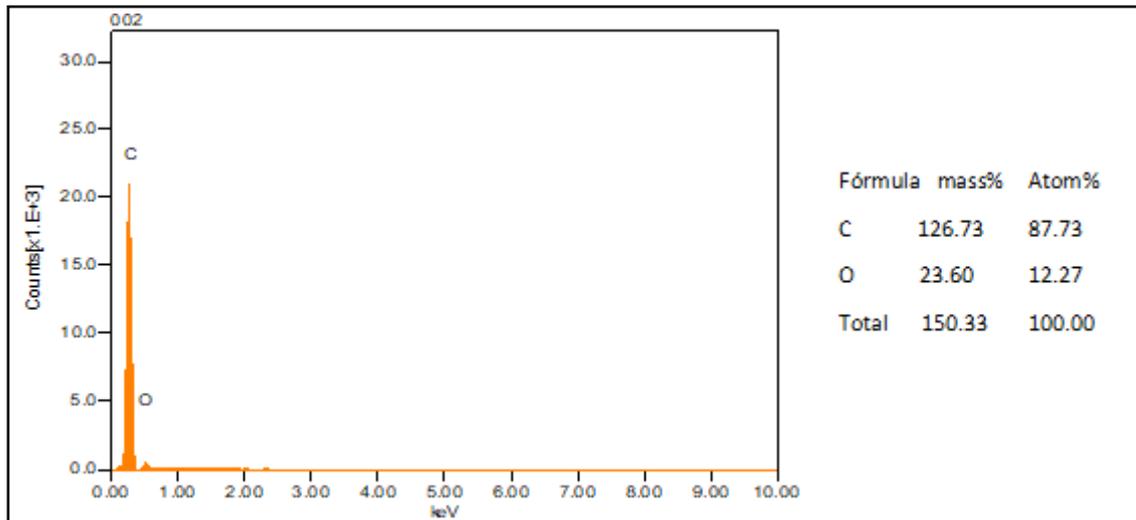


Gráfico 6-4: Composición en análisis SEM en muestra de PP
 Realizado por: Sanipatín, S. 2019

- *Composite con fibra de Abacá*

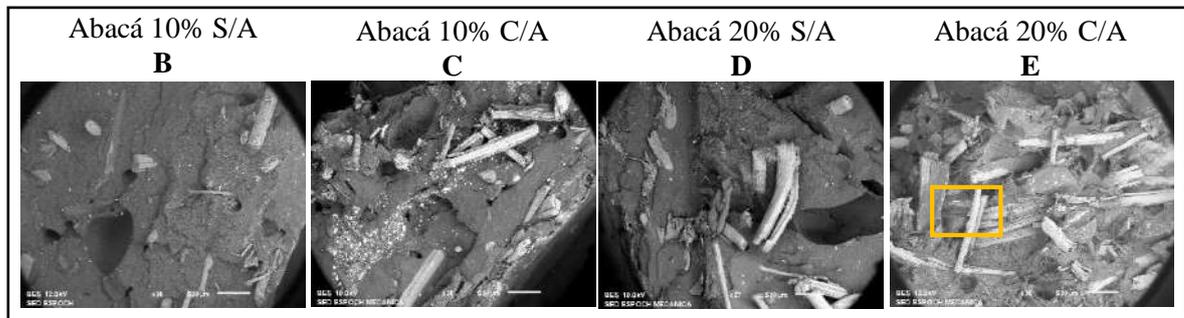


Figura 2-4: Análisis SEM en muestras con fibra de Abacá y PP
 Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En la Fig. 2 -4, se presentan los efectos de la inclusión de fibra de abacá en sus diferentes porcentajes y aplicación de acoplante sobre las morfologías superficiales del PP. En la muestra B y D existe una notable formación de vacíos en el material, por el contrario, en C y E el PP se adhirió a la superficie de las fibras de abacá sin ningún espacio presente. La adición de agente de acoplamiento mejoró en gran medida la adhesión de la matriz de fibra aumentando así las propiedades mecánicas (Sullins et al. 2017); Al analizar la composición de la muestra E la cual presentó mejor distribución de la fibra, se obtuvo alto contenido de C, O y en menor porcentaje K, elemento que se justifica debido a que pertenece a la misma familia del plátano, planta que rica en potasio.

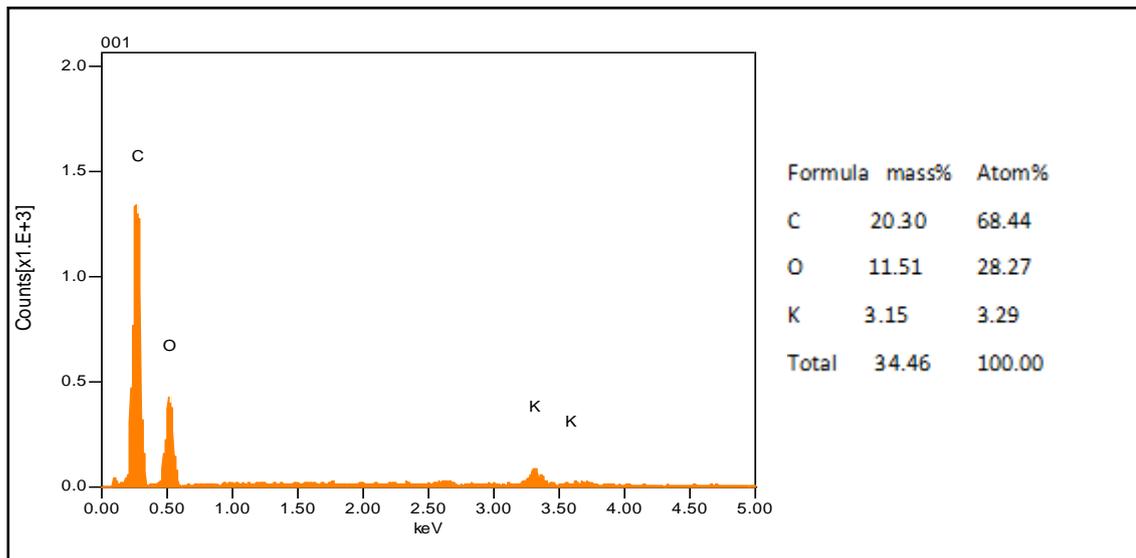


Gráfico 7-4: Composición en análisis SEM en muestra de Abacá y PP
 Realizado por: Sanipatín, S. 2019

- *Composite con fibra de Plátano*

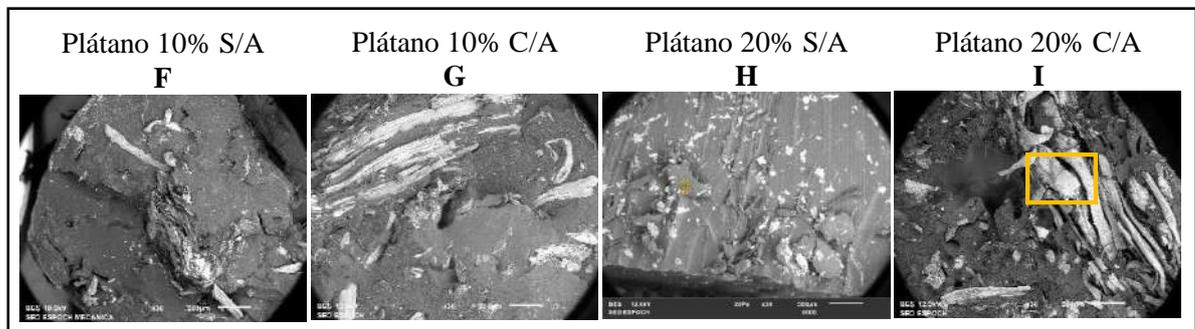


Figura 3-4: Análisis SEM en muestras con fibra de Abacá y PP
 Realizado por: Sanipatín, S. 2019

La Figura 3 – 4, muestra las imágenes SEM de las superficies de fractura de los compuestos de PP reforzados con fibra de Plátano las cuales no presentan una buena distribución debido a la dispersión de las fibras y una mayor disposición no homogénea, se aglomeran en puntos específicos de la probeta, como consecuencia las propiedades mecánicas tienden a disminuir (Wu et al. 2018), esto justifica los resultados en la prueba de tracción ya que prácticamente no mejora la resistencia en relación al PP. Analizando la muestra I, que arrojó mejores resultados frente a pruebas mecánicas pese a su distribución superficial, tiene elementos como C, O y K, no presenta impurezas.

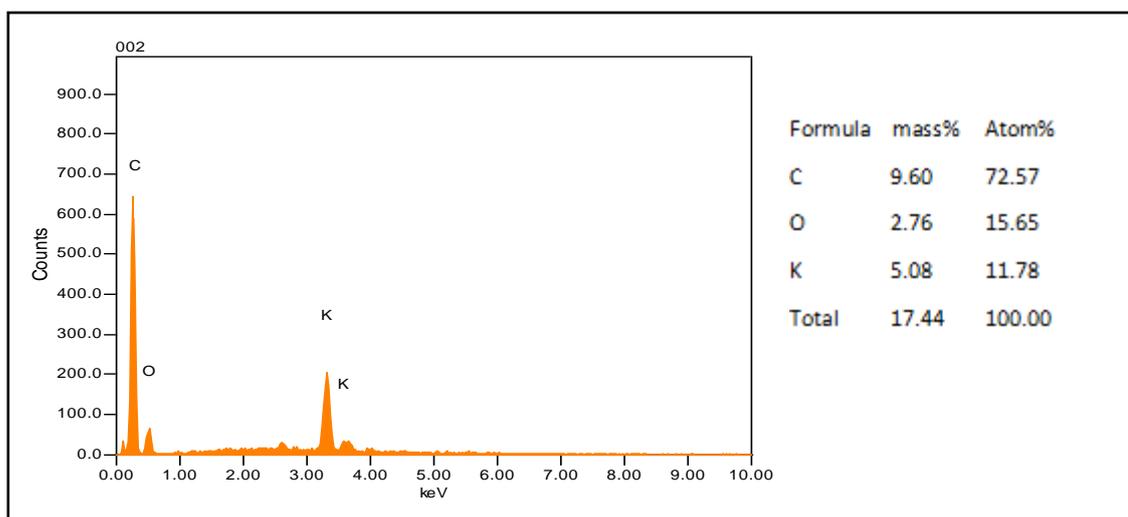


Gráfico 8-4: Composición en análisis SEM en muestra de Plátano y PP
Realizado por: Sanipatín, S. 2019

4.6.6. Comparación de resultados

Tabla 13 -4: Resultados de pruebas en probetas.

Pruebas	Unidad/ Escala	PP	Abacá 10% S/A	Abacá 10% C/A	Abacá 20% S/A	Abacá 20% C/A	Plátano 10% S/A	Plátano 10% C/A	Plátano 20% S/A	Plátano 20% C/A
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Esfuerzo de Fluencia	MPa	9,00	9,00	11,00	10,00	11,00	8,00	9,00	9,00	10,00
Esfuerzo máximo-Tracción	MPa	13,68	16,64	16,77	14,44	18,4	15,17	17,77	15,27	17,04
Módulo de elasticidad	MPa	864,19	1119,81	2005,84	677,47	1767,37	913,81	1155,98	789,74	1071,88
Esfuerzo en la rotura	MPa	26,27	16,30	41,39	21,54	29,55	22,73	22,74	21,79	22,95
Esfuerzo máximo-Compresión	MPa	23,51	12,52	14,21	6,21	11,41	6,84	10,86	2,45	12,05
Dureza	Shore D	56,50	62,17	60,50	60,00	64,17	57,17	62,33	60,50	62,17

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

Acorde a los resultados estipulados en la Tabla 13 -4, el esfuerzo de fluencia mejora un 22% en comparación al PP al trabajar con fibra de abacá y acoplante, independientemente del % de fibra que se aplique. Los resultados para los biocompuestos de PP reforzados con fibras de abacá y plátano son aproximadamente 10MPa menores que los obtenidos en la investigación previa realizada por Bledzki (2015), la razón es la forma en la que la fibra se distribuyó a lo largo de la placa de PP, la mayoría se acumuló en la parte central dejando las superficies de las probetas holgadas de fibra. Adicional se debe considerar que el agente acoplante utilizado en estudios

precedentes a este, en su mayoría ha sido el anhídrido maleico ya que forma parte de las resinas de poliéster de gran consumo (Barragán, 2019), autor que a la vez sugiere que se puede emplear anhídrido ftálico como acoplante en trabajos que contengan PP y celulosa, a pesar de no trabajar con anhídrido maleico el principio fundamental sigue siendo el mismo, la cadena =O del anhídrido ftálico sufre una hidrogenación al someterlo a altas temperaturas, dando paso a que la cadena se abra y pueda empatar con el PP y la fibra, mejorando de esta manera la adhesión interfacial entre la celulosa y la matriz polimérica. En cuanto al módulo de elasticidad la disminución de las propiedades mecánicas con un aumento en el peso de la fibra del 10 y 20% también se atribuyó a una mala adhesión entre la fibra y la matriz, que se demostró que mejoraba después de la adición de compatibilizador (Zhao et al. 2014), dato que corrobora el presente trabajo ya que sin el uso de anhídrido ftálico disminuye la flexibilidad en las muestras, los módulos de elasticidad en flexión de los biocompuestos de PP dependen también de la rigidez de la fibra, orientación en el material y el contenido de volumen en el biocompuesto (Bledzki et al 2015). La prueba de resistencia a la compresión confirma los análisis realizados en el SEM, donde el PP mostraba una superficie compacta sin huecos, mientras que las muestras en las que se trabajó con fibra tenía vacíos que a pesar de ser pequeños o grandes al momento de someterlos a una carga su resistencia disminuye, mientras que, la prueba de dureza aumenta al trabajar con todas las muestras de fibra, principalmente con fibra de abacá al 20% y acoplante. Las propiedades mecánicas de un compuesto dependen principalmente de la fracción de volumen de fibra, las propiedades individuales de la fibra y la matriz y la unión interfacial entre estos dos (Lila et al. 2018), mención que justifica al mejor tratamiento a aquel que trabaja con fibra de abacá al 20% y anhídrido maleico, ya que se distribuye de mejor manera manteniendo una compactación del PP y la fibra propicios para incrementar la resistencia a las diferentes pruebas mecánicas en comparación al polipropileno.

4.7. Representaciones Gráficas de Resultados

- *Comparación de Curvas Esfuerzo-Deformación. Prueba de Tracción*

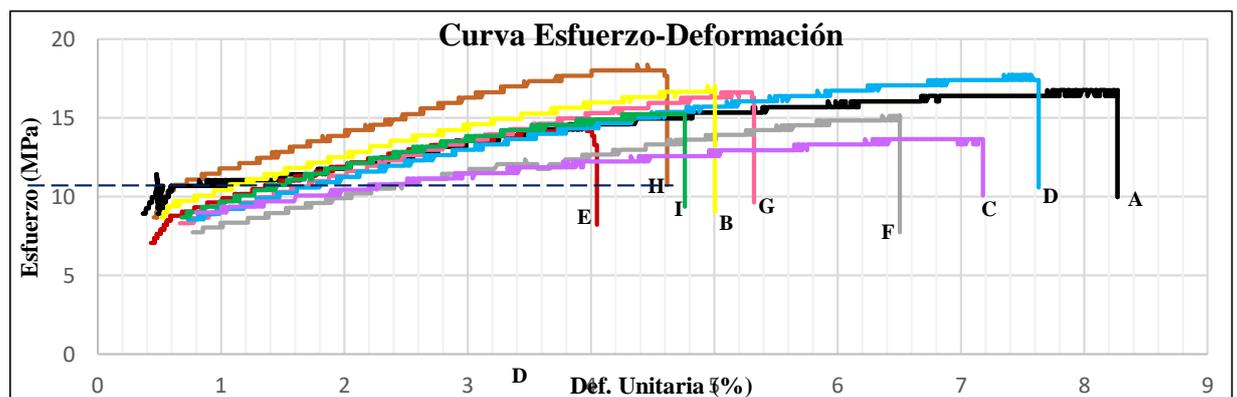


Gráfico 9-4: Comparación de Curva Esfuerzo-Deformación
Realizado por: Sanipatín, S. 2019

En base a las curvas obtenidas de Esfuerzo-Deformación las probetas E, 20% de abacá con acoplante tienen mayor esfuerzo a la rotura 10.8 MPa, mientras que G, 10% de plátano sin acoplante resiste 7.9 MPa, demostrando así que el uso del acoplante incrementa la resistencia al esfuerzo, pero disminuye el % de deformación, lo que sucede al contrario con la muestra G.

- *Prueba de Compresión*

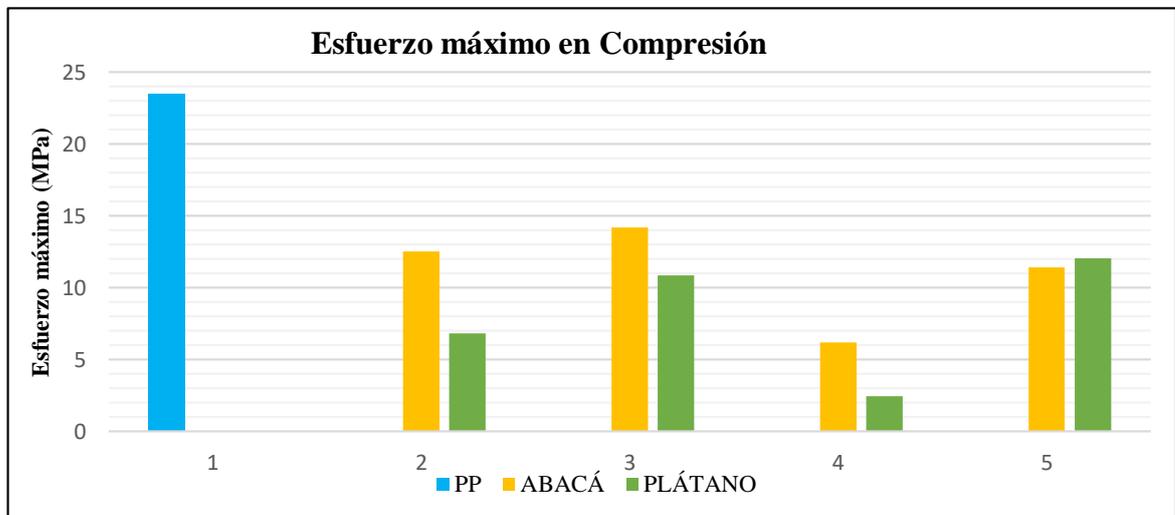


Gráfico 10-4: Comparación del Esfuerzo máximo en Compresión.

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

- *Prueba de Flexión*

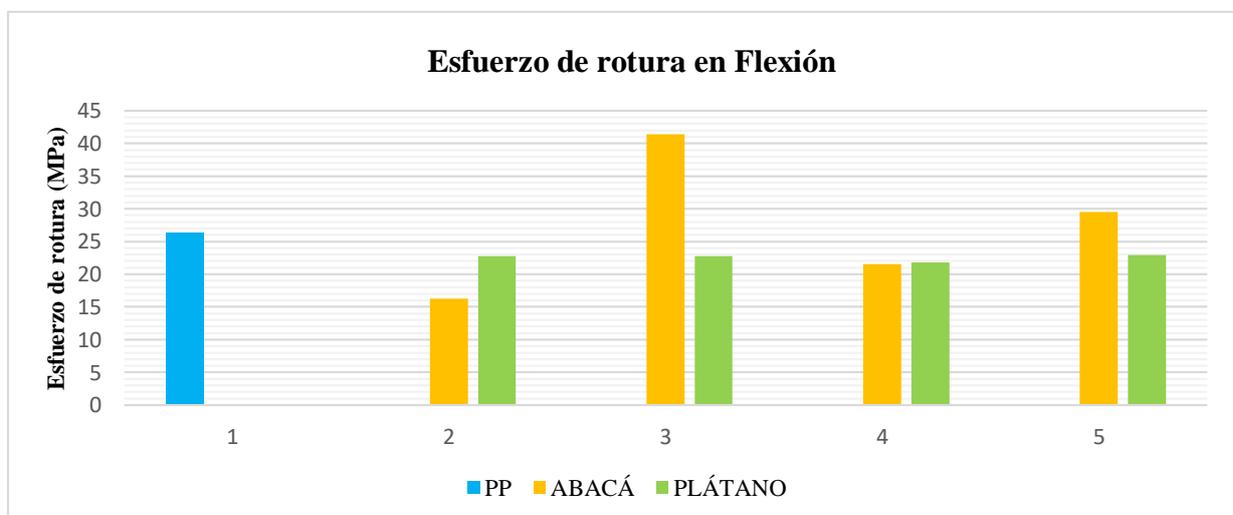


Gráfico 11-7: Comparación del Esfuerzo de rotura en Flexión

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

- Prueba de Dureza

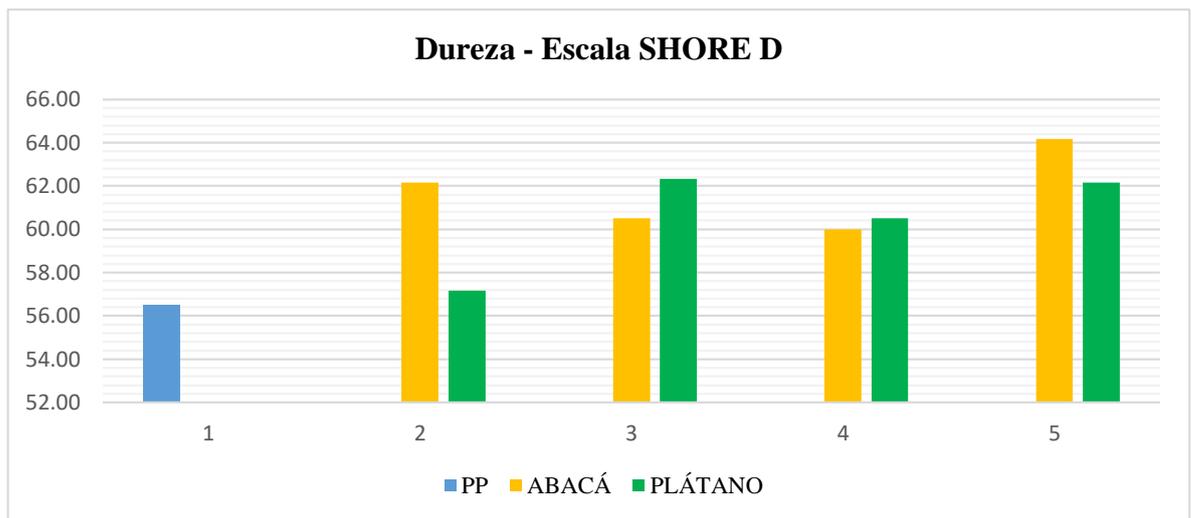


Gráfico 12-4: Comparación de Dureza en Escala SHORE D

Realizado por: Sanipatín, S. 2019

CONCLUSIONES

- Los perfiles de temperatura para trabajar con PP en conjunto con fibra vegetal son de 175°C en las zonas de dosificación, transición y 150 °C en la zona de alimentación, con una velocidad del tornillo de 500 rpm, siendo el 20% de fibra el porcentaje de máxima trabajabilidad en la extrusora, la presión a la que se trabaja durante el prensado del molde es de 3500 psi.
- Al realizar las diferentes pruebas mecánicas como son resistencia a la tracción, flexión y compresión a las probetas de PP reciclado y las injertadas con fibra obtenidos por extrusión, es notoria la incidencia de la fibra en los resultados en comparación al PP, en los ensayos de resistencia a la tracción mejora el esfuerzo de fluencia un 22% al trabajar con fibra de abacá con y sin acoplante, ensayos de flexión mejoran únicamente las propiedades al trabajar con 20% de fibra y uso de acoplante, mejorando las propiedades físicas y mecánicas de las probetas en forma general al trabajar con fibra de abacá y agente acoplante, esto debido a que el anhídrido ftálico promueve la adhesión entre la matriz de PP y cargas inorgánicas mediante la formación de enlaces químicos estables entre la matriz orgánica y la superficie de la carga.
- La fibra de la planta de Abacá como la de Plátano son plantas herbáceas provenientes de la familia Musáceas y tienen características físicas similares, razón por la que el modo de obtención y tratamiento que se les aplica previo a ser usadas en el proceso son semejantes, mismos que consisten en recolección, corte, lavado y secado de los tallos.

RECOMENDACIONES

- Para trabajar con fibra vegetal se recomienda que el tamaño del material no sobrepase los 2 cm, para asegurar la factibilidad del proceso, ya que evitará que el tornillo extrusor se atasque.
- Mantener baja la humedad de la fibra durante su almacenamiento.
- El plástico con el que se vaya a trabajar debe ser del mismo proveedor durante todo el ensayo.
- Se recomienda emplear 3 o 4 % de acoplante para incrementar la resistencia de PP al trabajar con fibras vegetales, si bien es cierto en este trabajo se usó el 2%, pero agregándole más acoplante es posible que las propiedades mejores según proponen autores con trabajos similares.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE NOTICIAS DE LA U. NACIONAL. “Fibra de plátano mejora propiedades del concreto”. *El Espectador* [en línea], 2015. S.l. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/fibra-de-platano-mejora-propiedades-del-concreto-articulo-543982>

ARMAS, D; et al. “Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo”. *Científica* [en línea], 2016, (Ecuador) 20(1), pp. 21-31. [Consulta: 18 de septiembre de 2019]. ISSN 1665-0654. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61447568003>

AVENDAÑO, S. “Extrusión”, [en línea], 2016. SI. [Consulta: 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/stephanyavendano/extrusin-60707979>

BARRAGÁN, C; et al. “Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* [en línea], 2015, (Malasia), pp. 5. [Consulta: 18 de septiembre de 2019]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/284766404_Recent_advances_in_epoxy_resin_natural_fiberreinforced_epoxy_composites_and_their_applications/link/56667a3608ae15e74634cf0f/download

BARRANTES, J; et al. “Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano (*Musa AAA*)”. *Revista Iberoamericana de Polímeros* [en línea], 2015, (Costa Rica) 16(2), pp. 91-111. [Consulta: 9 de septiembre de 2019]. ISSN-e 0121-6651. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5009469>

BLEDZKI, A; et al. “Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers”. *Industrial Crops and Products* [en línea], 2015 (Sudán) 70(1), pp. 91-99. [Consulta: 10 de agosto de 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.013>

BORRÁS, V; et al. “*Caracterización de materiales poliméricos*” [en línea]. España-Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2016. [Consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org>

CAICEDO, C; et al. “Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento”. *Ingeniería, investigación y tecnología* [en línea], 2017 (México) 18(3), pp. 245-252. [Consulta: 10 de agosto de 2019]. ISSN 1405-7743. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000300245

CALLISTER, W; et al. “*Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”. 2ª ed. Barcelona-España: Reverté, 2016, pp. 546.

CASTILLO, F. “*Conformado de materiales plásticos*”. Cuautitlán-México: UAM, 2015, pp. 20-26.

CENTRO REGIONAL “Riobambeños generan 0,56 kilos de desperdicios cada día”. *eltelegrafo* [en línea], 2016. S.l. [Consulta: 10 de agosto de 2019] Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/riobambenos-generan-0-56-kilos-de-desperdicios-cada-dia>.

CONVERSIO MARKET & STRATEGY GMBH “Plastics – the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data”. PlasticsEurope [en línea], 2018. S.l.

[Consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/resources/market-data>

CORNISH, M. “*El ABC de los plásticos*”. México: Universidad Iberoamericana, 1997, pp. 21-22.

ESPINOZA, P. "Incidencia de un sistema de gestión de controles en la elaboración de galoneras en el proceso de la producción de la empresa AGRICOMINSA". [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 2015. pp.14-15 [Consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/13569/1/ESPINOZA%20PIGUABE%20PAOLO%20RICARDO.pdf>

KIM, J; et al. “Review of nanocellulose for sustainable future Materials”. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. [en línea], 2015 (China) 2(2), pp. 197-213. [Consulta: 10 de agosto de 2019]. ISSN 2198 0810. Disponible en:

<https://www.deepdyve.com/lp/springer-journals/review-of-nanocellulose-for-sustainable-future-materials-0lwb1Q5FJy>

LEIVA CHACÓN & TORRES GUALPA Caracterización y reciclado por extrusión del EVA de desecho ETIL VINIL ACETATO. (Trabajo de titulación). (Pregrado) [en línea] Escuela Superior Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Mecánica. Salgolquí-Ecuador. 2016. pp. 29. [Consulta: 9 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/776?locale-attribute=en>

LILA M. K; et al. “A recyclability study of bagasse fiber reinforced polypropylene composites”. *Polymer Degradation and Stability* (2018), pp. 152, 272-279. [Consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/signup.SignUp.html>

LÓPEZ D. F., & ROJAS, A. F. “Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plástico”. *Entre Ciencia e Ingeniería*. [en línea], 2018 (Brasil) 2(2), pp. 12, 93-103. [Consulta: 10 de agosto de 2019]. ISSN 2539-4169. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/326855553_Factores_que_influyen_las_propiedades_mecanicas_fisicas_y_termicas_de_materiales_compuestos_madero_plasticos/link/5b72c8e3a6fdcc87df79c50e/download

MORA, J; et al. “Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano (Musa AAA)”. *Revista Iberoamericana de Polímeros* [en línea], 2015, (Costa Rica) 16(2), pp. 4-5. [Consulta: 9 de septiembre de 2019]. ISSN: 0121-6651. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5009469>

NTE INEN 2043:2013. *Plásticos. resistencia a la rotura por tracción*

NTE INEN 2634-2012 *Disposición de Desechos Plásticos Post-Consumo. Requisitos*

NTE INEN ISO 178. *Ensayos de flexión para plásticos. Ecuador:*

NTE INEN-ISO 604. *Plásticos. determinación de las propiedades en compresión.*

QUEVEDO, D. Exploración de aplicaciones comerciales utilizando materiales compuestos para generar valor agregado, caso de estudio abacá. (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea] Universidad de las Américas, Facultad de Arquitectura y Diseño, Quito, Ecuador. 2019. pp.18-19. [Consulta: 9 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10808>

RIVERA, R. “Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura” [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Área Departamental de Ciencias de la Ingeniería, Piura-Perú. 2014. pp.38-42. [Consulta: 9 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://pirhua.udep.edu.pe>

SEPE, R; et al. “Influence of chemical treatments on mechanical properties of hemp fiber reinforced composites” *Composites Part B: Engineering* [en línea], 2018. S.I. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. ISSN: 1359-8368. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.030>

SEYMOUR R JR & CARRAHER CH. *Introducción a la Química de los Polímeros*. 3ª ed. Barcelona-España: REVERTÉ, 2015, pp.82-85.

SULLINS T; et al. Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B: Engineering*. [en línea], 2017. S.I. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. ISSN: 1359-8368. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.02.001>

TEACA CARMEN-ALICE; et al. “Multi-component Plymer Systems Comprising Wood as Bio-based Component and Termoplastic Polymer Matrices - An Overview” *BioResources* [en línea], 2018. (United State of America) 13(2), p.p. 4728-4769. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. ISSN: 1930-2126. Disponible en:

https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_2_Review_Teaca_Polymer_Systems_Wood_Thermoplastics_Matrices

TEXTILE L. ABACA FIBER (MANILA HEMP), 2018. Uses/ Application of Abaca Fiber. [en línea]. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/abaca-fiber-manila-hemp-usesapplication.html>.

TEXTOS CIENTÍFICOS EN POLÍMEROS, 2017. Textos Científicos .com [En línea]. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno>.

TORRES A. & VERA A. “Análisis de la utilización del tallo de banano como fuente de fibra para potenciar la producción de artesanías del cantón el Triunfo y su futura exportación. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 2015. pp.14-15 [Consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en: <repositorio.ug.edu.ec>

UNIVERSIDAD DE BARCELONA [En línea]. Polímeros. [Consulta: 20 de octubre de 2019] Disponible en: <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polipropileno>

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA [En línea]. Grado en Ingeniería de Materiales. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.usal.es/grado-en-ingenieria-de-materiales>.

WU, Y; et al. Development of natural fiber-reinforced composite with comparable mechanical properties and reduced energy consumption and environmenta impacts for replacing automotive glass-fiber sheet molding compound. *Journal of cleaner production* [en línea], 2018. (China) (184) pp. 184, 92-100. [Consulta: 20 de octubre de 2019]. ISSN 0959-6526 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.257>

ZHAO X; et al. Mechanical properties of sisal fiber reinforced high density polyethylene composites: Effect of fiber content, interfacial compatibilization, and manufacturing process [en línea], 2014 (United State of America) 65, pp. 169-174. ISSN 1359-835X [Consulta: 20 de octubre de 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.0>

ANEXOS

ANEXO A: NTE INEN 2043:2013. Plásticos. Determinación de la resistencia a la rotura por Tracción.



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2043:2013
Primera revisión

PLÁSTICOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN

Primera Edición

PLASTICS. METHOD FOR DETERMINATION OF TENSILE PROPERTIES.

First Edition.

DESCRIPCIÓN: Plásticos, hojas, láminas, planchas, corticas, ensayo, tracción.
PL 03.01-301
CDU: 678.5/6-678.01-539-42
CIIU: 3560
ICB: 63.140

ANEXO B: INEN-ISO 178. Ensayos de flexión para plásticos.



Quito - Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO 178
Primera edición
2014-01

**PLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE
FLEXIÓN (ISO 178:2010, IDT)**

PLASTICS. DETERMINATION OF FLEXURAL PROPERTIES (ISO 178:2010, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 178:2010

DESCRPTORES: Plásticos, determinación, propiedades, flexión
ICS: 83.080.01

28
Páginas

© ISO 2010- Todos los derechos reservados.
© INEN 2014.



Quito - Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO 604
Primera edición:
2014-01

**PLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN
COMPRESIÓN (ISO 604:2002, IDT)**

PLASTICS. DETERMINATION OF COMPRESSIVE PROPERTIES (ISO 604:2002, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional
ISO 604:2002

DESCRIPCIÓN: Plásticos, determinación, propiedades, compresión
ISO: 604:2002

22
Páginas

ANEXO D: Elaboración de Probetas evidencia gráfica.



a)

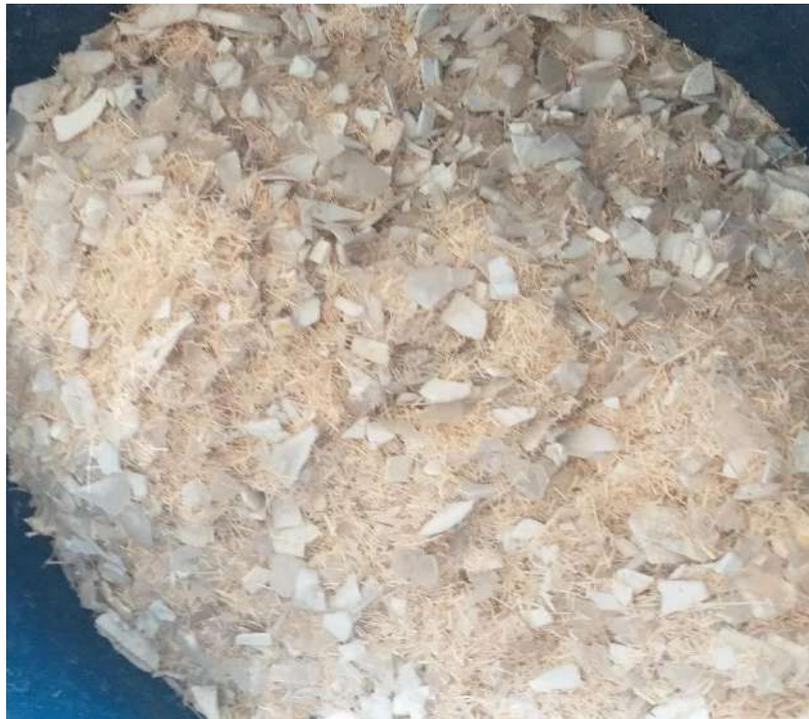


b)

- a) Clasificación de PP reciclado
b) Preparación de muestra de Plátano y PP



a)



b)

- a) Preparación del Anhídrido Ftálico
- b) Preparación de muestra de Abacá y PP



a)



b)

- a) Extrusión de Probetas con Abacá y Plátano
b) Probetas obtenidas

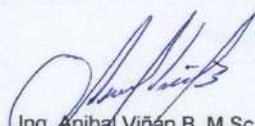
ANEXO E: Reporte de pruebas de resistencia a la rotura por Tracción en Laboratorio de materiales "LenMav".



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 02	
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA
MATERIAL:	PROBETA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2043.95
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	A14
CARACTERÍSTICA	LÁMINA GRIS
ESPEJOR [mm]	5.4
ANCHURA [mm]	10.30
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	55.62
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9.00.E+02
CARGA DE FLUENCIA [N]	500.58
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	9.00
CARGA MAXIMA [N]	760.78
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	13.68
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1.00
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

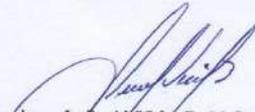
Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com
 Riobamba - Ecuador

Continuar pág. Siguiente

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Sofía Sanipatin
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA
MATERIAL:	PROBETA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2043:95
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	B24
CARACTERÍSTICA	LÁMINA GRIS
ESPESOR [mm]	6.2
ANCHURA [mm]	9.70
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	60.14
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	8.30.E+02
CARGA DE FLUENCIA [N]	541.26
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	9.00
CARGA MAXIMA [N]	1001.02
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	16.64
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0.20
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 05	
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA
MATERIAL:	PROBETA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2043:95
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	E66
CARACTERÍSTICA	LÁMINA GRIS
ESPESOR [mm]	5.6
ANCHURA [mm]	10.30
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	57.68
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	8.70.E+02
CARGA DE FLUENCIA [N]	634.48
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	11.00
CARGA MAXIMA [N]	1061.08
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	18.40
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1.83
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1



INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 06	
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA
MATERIAL:	PROBETA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2043:95
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F83
CARACTERÍSTICA	LÁMINA GRIS
ESPESOR [mm]	6.1
ANCHURA [mm]	10.60
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	64.66
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	7.70.E+02
CARGA DE FLUENCIA [N]	517.28
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	8.00
CARGA MAXIMA [N]	981.00
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	15.17
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0.20
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Telf: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@le
Riobamba

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 08	
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA
MATERIAL:	PROBETA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2043:95
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	H110
CARACTERÍSTICA	LÁMINA GRIS
ESPEJOR [mm]	5.6
ANCHURA [mm]	10.30
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	57.68
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	8.70.E+02
CARGA DE FLUENCIA [N]	519.12
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	9.00
CARGA MAXIMA [N]	880.90
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	15.27
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0.20
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

ANEXO F: Evidencia fotográfica de modo de rotura en probetas durante ensayo de Tracción, para determinación de tipo de material.



ANEXO G: Resultados de pruebas de Flexión. Laboratorio "LenMav".

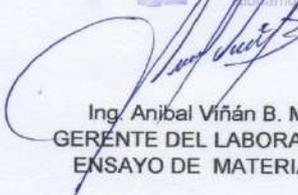


LenMav
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE FLEXIÓN				Denominación: RF 20 - 1	
N° 01					
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin				
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO				
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS				
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA				
MATERIAL:	PROBETAS DE PLÁSTICO				
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09				
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2047:96				
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	A	B-19	C-34	D-57	E-70
CARACTERISTICA	Placa	Placa	Placa	Placa	Placa
ESPESOR [mm]	5.60	6.10	4.80	6.70	5.60
ANCHURA [mm]	18.20	18.90	18.50	18.70	18.40
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	101.92	115.29	88.80	125.29	103.04
MÓD. APARENTE DE ELASTIC. [MPa]	864.19	1119.81	2005.84	677.47	1767.37
CARGA DE ROTURA [N]	99.96	76.44	117.60	120.54	113.68
ESFUERZO EN LA ROTURA [MPa]	26.27	16.30	41.39	21.54	29.55
FLECHA EN LA ROTURA [mm]	19.92	24.56	14.52	7.77	8.60
OBSERVACIONES:	SE FRACTURARON TODAS LAS MUESTRAS				

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/2

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica
Telf: 032924420 - Cel: 0987260955
email: jvinan54@lenmav.co
Riobamba - Ecuad

Continuar pág. Siguiente

INFORME DE RESULTADOS				
ENSAYO DE FLEXIÓN			Denominación: RF 20 - 1	
			N° 02	
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin			
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO			
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS			
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA			
MATERIAL:	PROBETAS DE PLÁSTICO			
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09			
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2047:96			
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19			
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F-79	G-93	H-112	I-124
CARACTERISTICA	Placa	Placa	Placa	Placa
ESPEJOR [mm]	5.80	5.70	6.90	6.00
ANCHURA [mm]	19.80	18.70	18.70	18.50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	114.84	106.59	129.03	111.00
MÓD. APARENTE DE ELASTIC. [MPa]	913.81	1155.98	789.74	1071.88
CARGA DE ROTURA [N]	100.94	92.12	129.36	101.92
ESFUERZO EN LA ROTURA [MPa]	22.73	22.74	21.79	22.95
FLECHA EN LA ROTURA [mm]	13.60	13.08	9.09	12.03
OBSERVACIONES:	SE FRACTURARON TODAS LAS MUESTRAS			

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

2/2

ANEXO H: Resultados de pruebas de Compresión. Laboratorio "LenMav".



LenMav
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B. MSc

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN Denominación: RC 19 - 9

.Nº 01

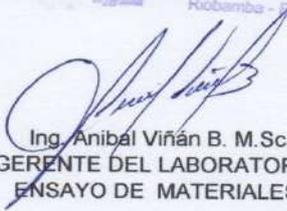
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin				
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO				
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS				
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA				
MATERIAL:	PROBETAS DE PLÁSTICO				
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09				
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2047:96				
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2	

DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P	B	C	D	E
CARACTERISTICA	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Cilindro
DIÁMETRO [mm]	26	26.3	26.1	26.4	26
LONGITUD INICIAL [mm]	75	77	79	77.4	75
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	530.9	543.3	535.0	547.4	530.9
MÓD. APARENTE DE ELASTIC. [MPa]	141.27	141.74	147.66	141.40	141.82
CARGA MÁXIMA [N]	12480	6800	7600	3400	6060
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	23.51	12.52	14.21	6.21	11.41

OBSERVACIONES:


Robamba - Ecuador

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

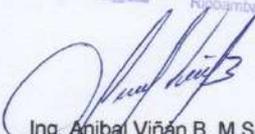
1/2

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cda Politécnica
Tel: 032924420 - Cel: 0987260955
email: jvinan54@lenmav
Robamba - Ec

Continuar pág. Siguiente

INFORME DE RESULTADOS				
ENSAYO DE COMPRESIÓN			Denominación: RC 19 - 9	
			N° 02	
SOLICITADO POR:	Sofia Sanipatin			
PROYECTO DE TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO OBTENIDO POR EXTRUSIÓN CON REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ Y DE PLÁTANO			
DIRECCION:	ESPOCH - FACULTAD DE CIENCIAS			
TIPO DE MATERIAL:	POLIPROPILENO - FIBRA			
MATERIAL:	PROBETAS DE PLÁSTICO			
FECHA DE FABRICACIÓN:	2019 - 09			
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2047:96			
FECHA DE ENSAYO:	26-sep-19			
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD				
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F	G	H	I
CARACTERISTICA	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Cilindro
DIÁMETRO [mm]	26.6	26.3	26.2	26.8
LONGITUD INICIAL [mm]	73.2	76.7	74	78.2
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	555.7	543.3	539.1	564.1
MÓD. APARENTE DE ELASTIC. [MPa]	166.85	166.60	161.97	163.58
CARGA MÁXIMA [N]	3800	5900	1320	6800
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	6.84	10.86	2.45	12.05
OBSERVACIONES:				

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñan B. M.Sc
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

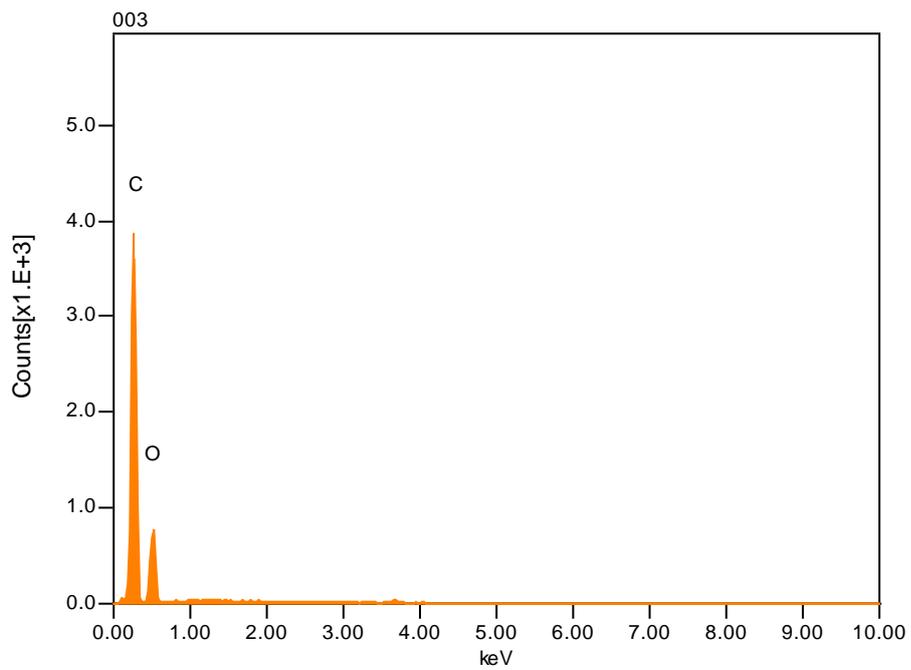
Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

2/2

ANEXO I: Resultados de análisis de Microscopio Electrónico de Barrido, laboratorio de Mecánica. ESPOCH

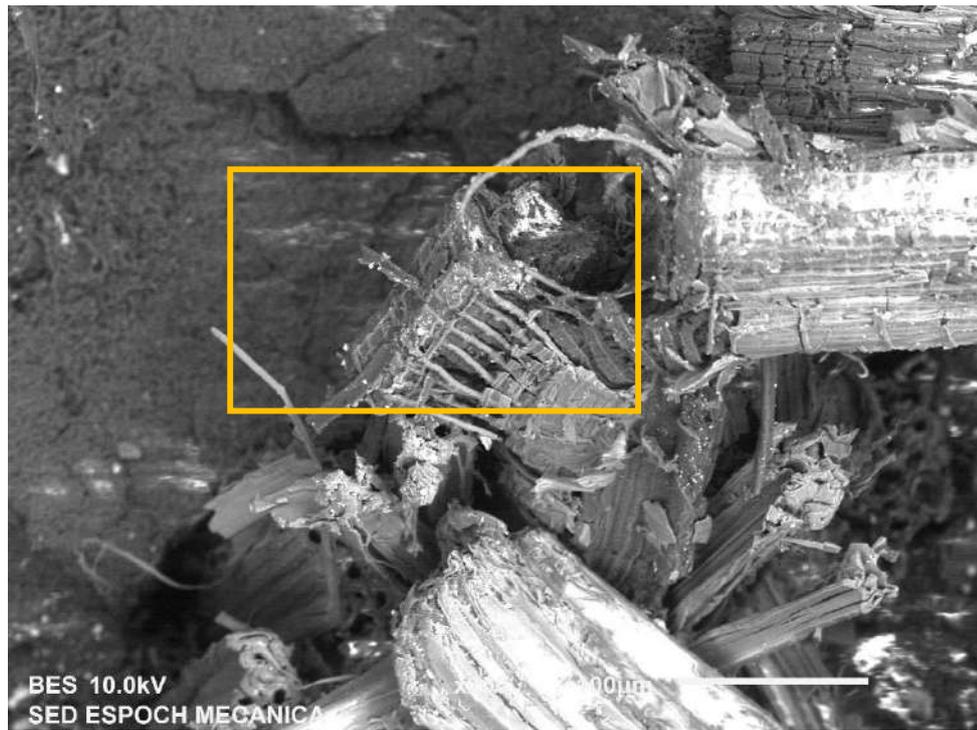


a)

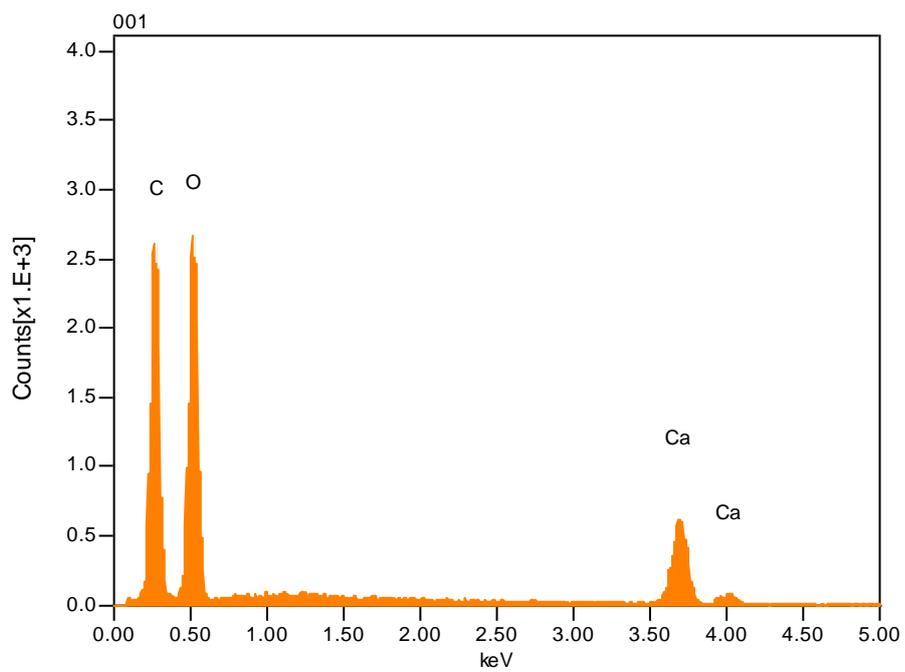


b)

- a) 10% de Abacá con PP. Sin acoplante
- b) Composición de la fibra



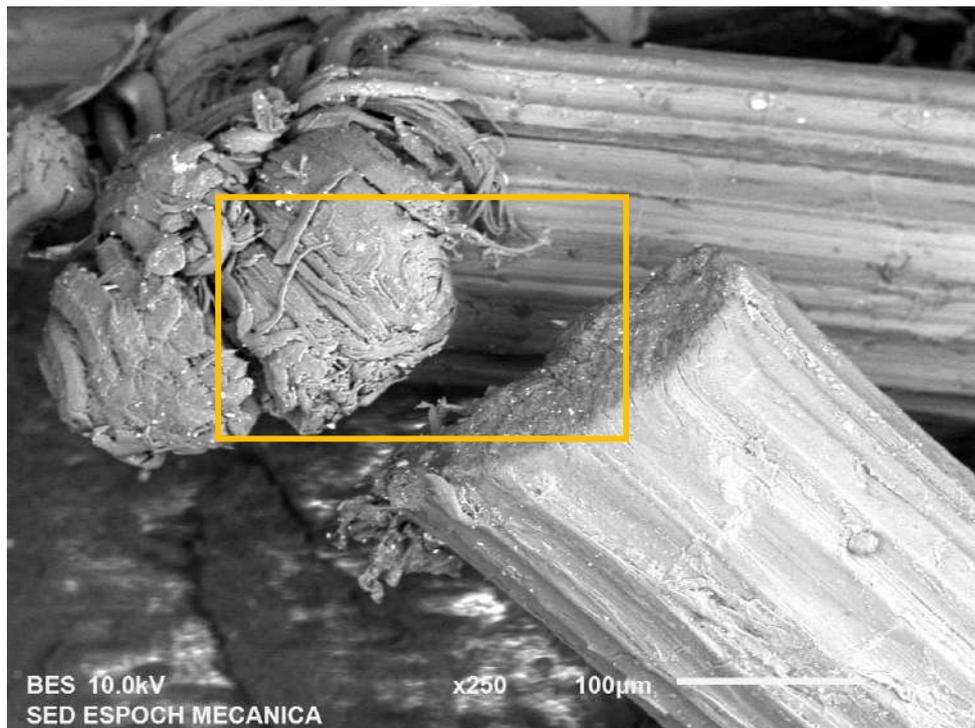
a)



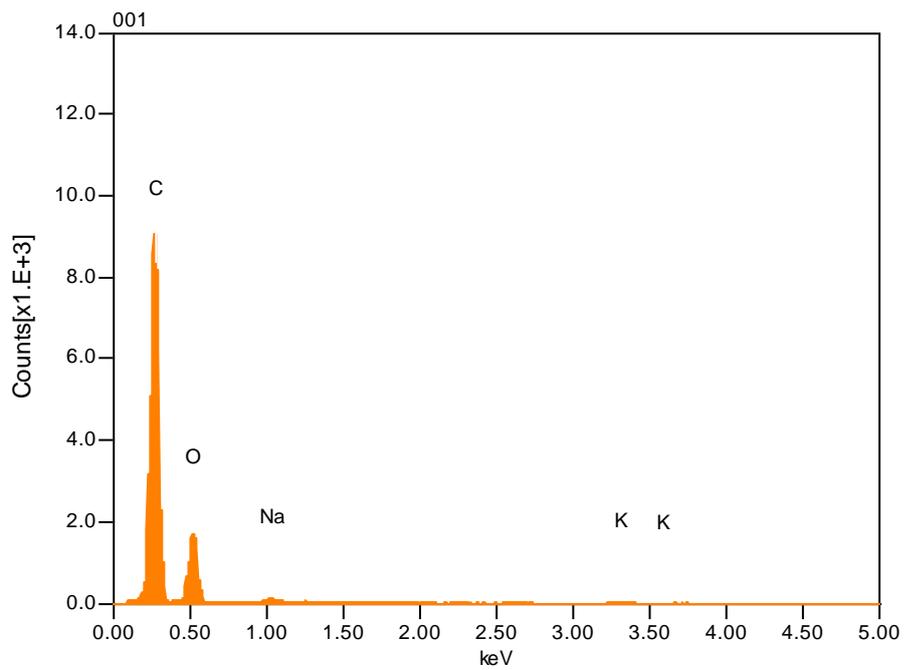
b)

a) 10% de Abacá con PP. Con acoplante

b) Composición de la fibra



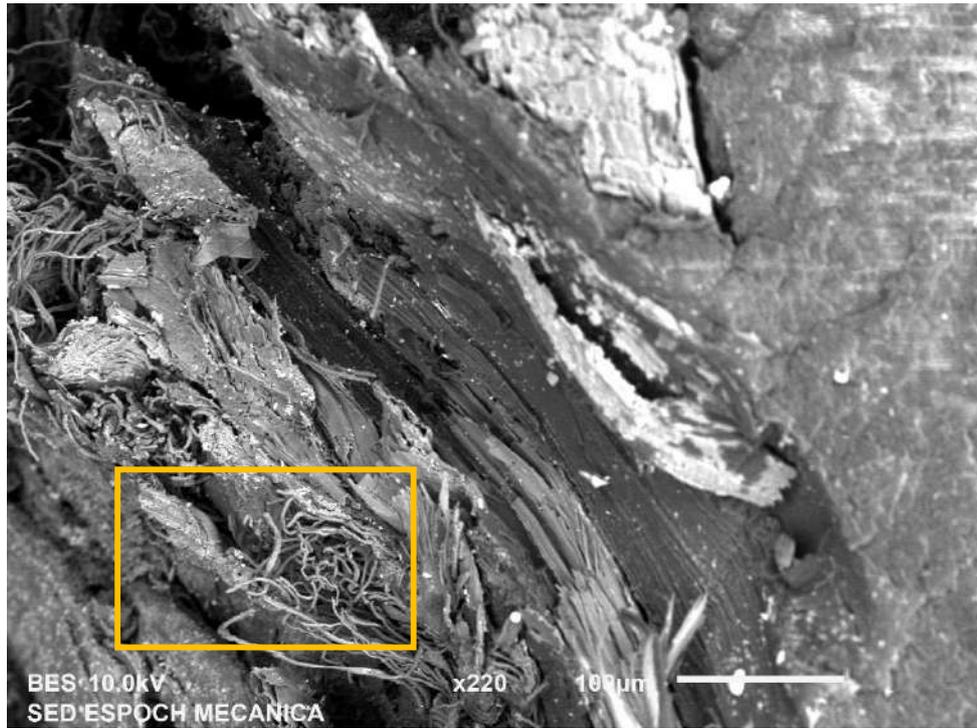
a)



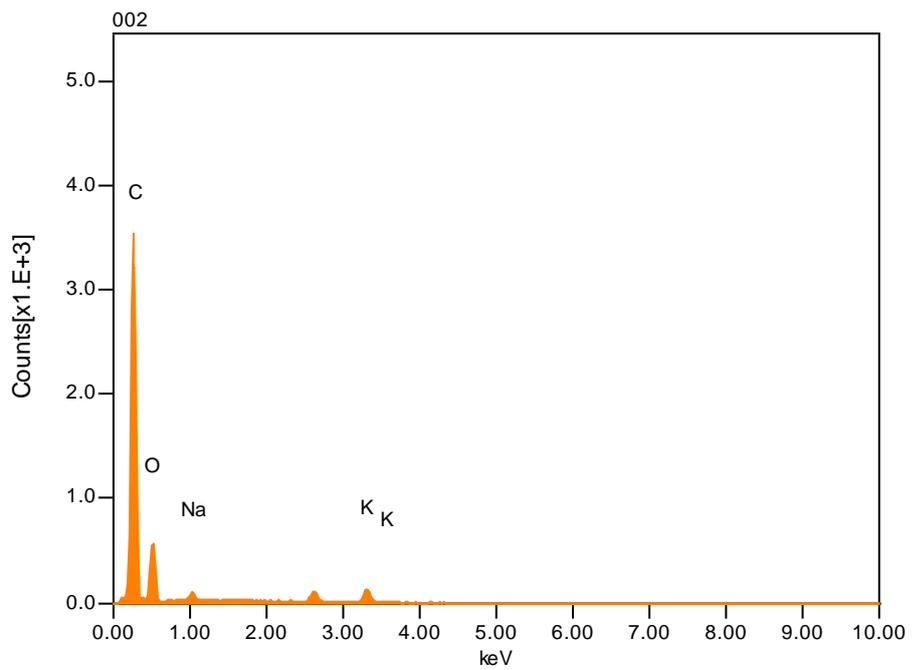
b)

a) 20% de Abacá con PP. Sin acoplante-Fractura de la fibra

b) Composición de la fibra



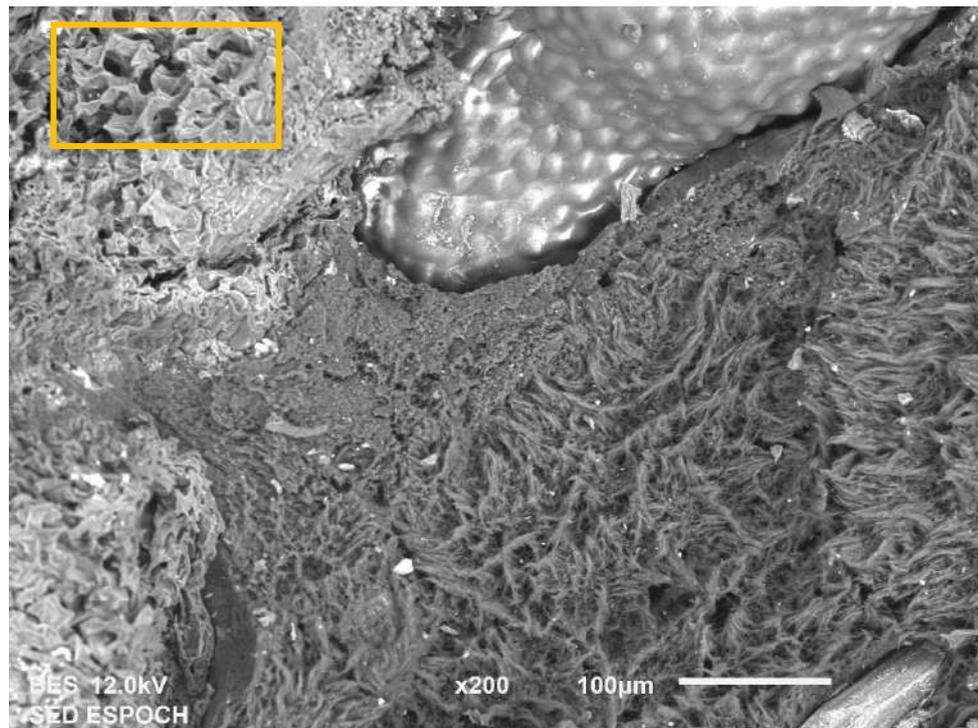
a)



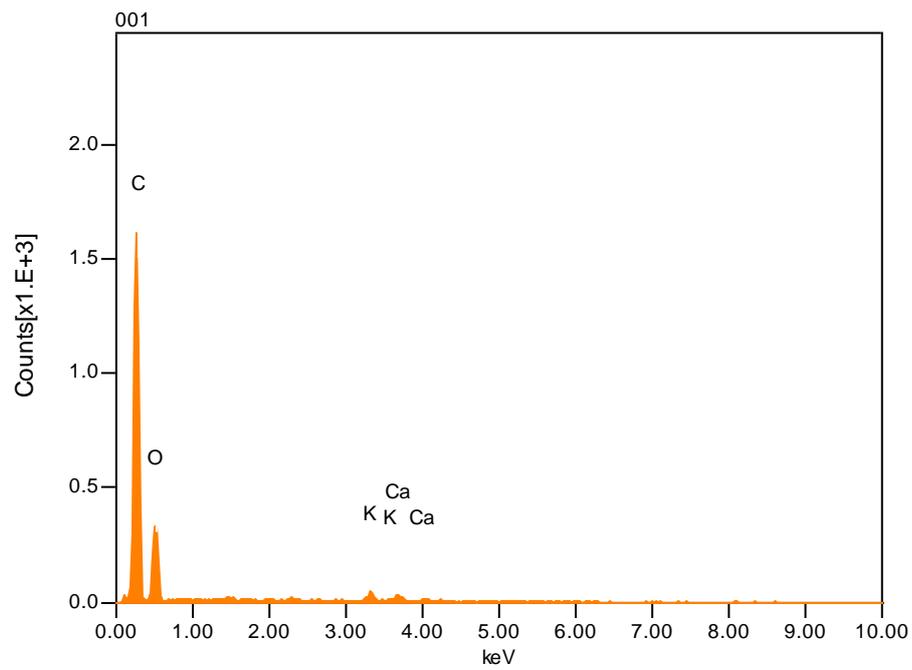
b)

a) 10% de Plátano con PP. Sin acoplante

b) Composición de la fibra



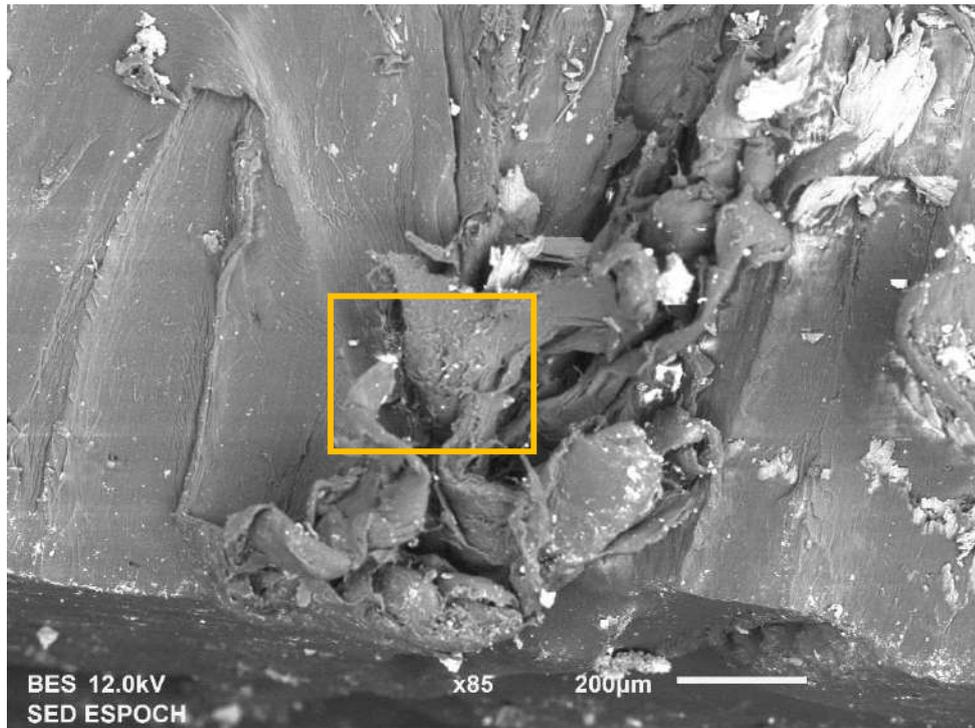
a)



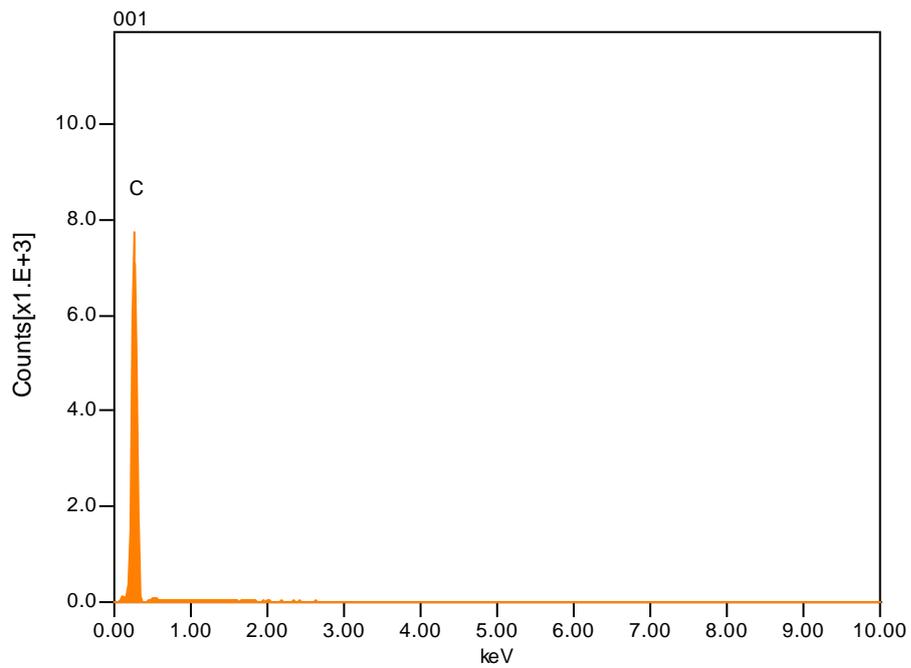
b)

a) 10% de Plátano con PP. Con acoplante

b) Composición de la fibra



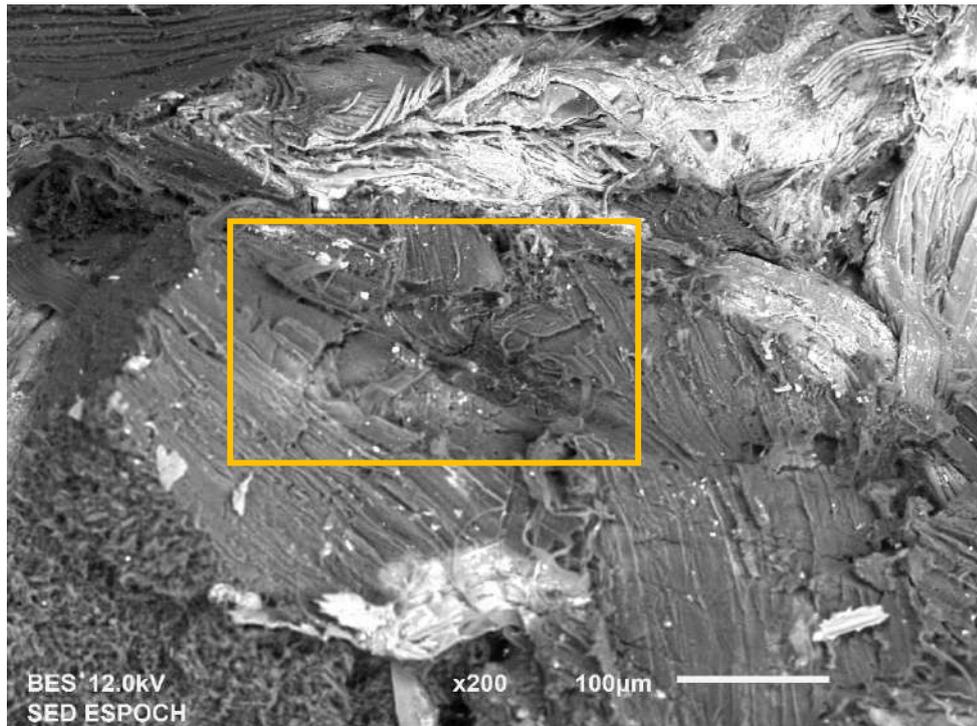
a)



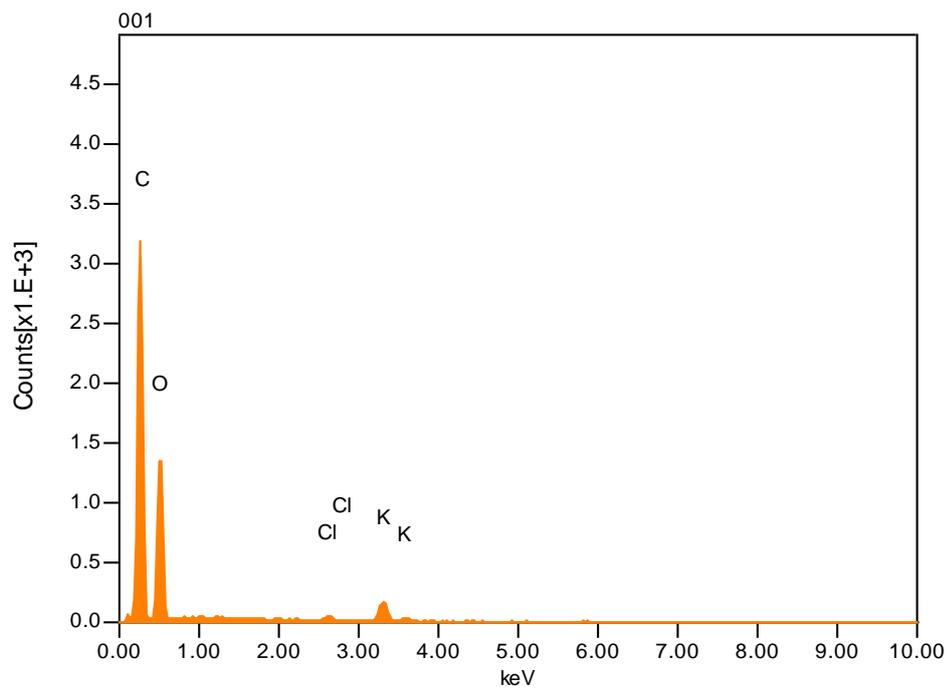
b)

a) 20% de Plátano con PP. Sin acoplante

b) Composición de la fibra



a)



b)

a) 20% de Plátano con PP. Con acoplante

b) Composición de la fibra

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 /11 / 2019

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Sofía Natalia Sanipatín Basantes
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de bibliotecas responsable: