

**EVALUACIÓN DEL USO DE CASCARILLA DE ARROZ, POLIETILENO Y
POLIPROPILENO EN LA PRODUCCIÓN DE POSTES PARA USO
AGROPECUARIO**

**JUSTEIN MELISSA BALLER GONZALEZ
ALEJANDRO RIOS CASTIBLANCO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.**

2016

**EVALUACIÓN DEL USO DE CASCARILLA DE ARROZ, POLIETILENO Y
POLIPROPILENO EN LA PRODUCCIÓN DE POSTES PARA USO
AGROPECUARIO**

**JUSTEIN MELISSA BALLER GONZALEZ
ALEJANDRO RIOS CASTIBLANCO**

**Proyecto de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO**

Asesor

EDGAR FERNANDO MORENO.

Ingeniero Químico

Director

MARIA PIA CANTILLO MALDONADO

Microbióloga, M_sc Biotecnología

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.**

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

EDGAR FERNANDO MORENO
Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la universidad de América, como los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por las bendiciones y oportunidades que me ha puesto en el camino. A mis padres al darme la oportunidad de ser un profesional, por las enseñanzas, apoyo y el gran ejemplo que me han dado. He aprendido a no rendirme y ser perseverante, que las metas propuestas se pueden alcanzar con esfuerzo y dedicación. Es una etapa que culmina y otra que empieza, con nuevas metas y proyectos, todo lo cumpliré con el objetivo de retribuirle a mis padres su gran esfuerzo. Doy gracias a las personas que me brindaron su apoyo durante este camino.

Alejandro Rios Castiblanco

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida y por darme fortaleza ante las adversidades; a mis padres por su constante apoyo, amor, entrega, cariño, esfuerzo y enseñanzas, son mi ejemplo a seguir; a mi hermano por estar para mí y ser un ejemplo de dedicación; a mis abuelos y tía por su amor infinito, por cuidarme y apoyarme; a mi abuela por siempre querer lo mejor para mí y por su cariño. Le dedico especialmente este trabajo a mi tío Fernando que siempre fue un ejemplo a seguir, por su perseverancia, trabajo, dedicación y por ser siempre el mejor en lo que hacía, sé que le hubiera gustado celebrar este triunfo junto a mí, siempre estarás en mi corazón. Por último a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo a lo largo de esta etapa.

Este es solo el comienzo de retos y objetivos por cumplir.

Justein Melissa Baller Gonzalez

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Edgar Fernando Moreno, quien estuvo en disposición para apoyarnos, guiarnos y ayudarnos en la realización de nuestro proyecto de grado.

A nuestra directora la microbióloga María Pía Cantillo por su apoyo incondicional, por sus ideas, dedicación y paciencia para culminar con éxito nuestro proyecto de grado.

A Tecnoparque Nodo Bogotá por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de investigación y además de brindarnos las herramientas para llevarlo a cabo.

A Javier Forero y su empresa Ecomaderas Plásticas, por abrirnos las puertas y confiar en nosotros, por brindarnos todas las herramientas para el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. GENERALIDADES	21
1.1 GENERALIDADES DE ECOMADERAS PLÁSTICAS	21
1.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN	21
1.3 PLÁSTICOS	23
1.3.1 Tipos de monómeros.	24
1.3.2 Clasificación de plásticos.	25
1.4 POLIPROPILENO	27
1.5 POLIETILENO	30
1.6 MATERIALES COMPUESTOS	31
1.6.1 Materiales compuestos reforzados con fibras.	32
1.6.2 Concentración y orientación de la fibra.	32
1.6.3 Material compuesto de fibras vegetales.	33
1.7 CASCARILLA DE ARROZ	33
2. CLASIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	35
2.1 CLASIFICACIÓN DE PLÁSTICOS	35
2.1.1 Prueba de combustión.	36
2.1.2 Prueba de beilstein.	37
2.1.3 Prueba de densidad.	37
2.1.4 Prueba de solubilidad.	38
2.2 CARACTERIZACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ	47
2.2.1 Prueba de densidad.	48
2.2.2 Prueba de porcentaje de humedad.	48
2.2.3 Prueba de contenido de ceniza.	50
2.2.4 Prueba de análisis bromatológico.	51
3. DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE TRABAJO	58
3.1 METODOLOGÍA	59
3.1.1 Prueba de resistencia a la compresión.	59
3.1.2 Prueba de resistencia a la tracción.	60
3.1.3 Determinación de la densidad.	61
3.1.4 Resistencia a agentes químicos.	62
3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS	62
3.2.1 Resistencia a la compresión.	62
3.2.2 Resistencia a la tracción.	67
3.2.3 Densidad.	73
3.2.4 Resistencia a agentes químicos.	74
3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	74

3.4	FORMULACIÓN DE MEZCLA DE MATERIAL	77
4.	ESTUDIO DE COSTOS DEL PROYECTO	78
4.1	ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN	78
4.2	ANÁLISIS DE DEPRECIACIÓN DE LA INVERSIÓN ASIGNADA DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	82
4.3	ANÁLISIS DE DEMANDA	83
4.4	EVALUACIÓN FINANCIERA	81
5.	CONCLUSIONES	83
6.	RECOMENDACIONES	84
	BIBLIOGRAFÍA	85
	ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades y características polipropileno	29
Tabla 2. Propiedades del polietileno de baja densidad y del polietileno de alta densidad	30
Tabla 3. Características de la cascarilla de arroz	34
Tabla 4. Resultados prueba de densidad.	38
Tabla 5. Densidades de diferentes plásticos	41
Tabla 6. Comparación de densidades del PEBD, PEAD y PP	41
Tabla 7. Longitudes de onda para los grupos funcionales	45
Tabla 8. Resultados de densidad de la cascarilla de arroz	48
Tabla 9. Resultados de porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz	49
Tabla 10. Resultado de porcentaje de cenizas de la cascarilla de arroz	50
Tabla 11. Composición de la ceniza de la cascarilla de arroz	51
Tabla 12. Resultados % FDN	53
Tabla 13. Resultados % FDA	53
Tabla 14. Resultados porcentajes de lignina	55
Tabla 15. Resultados bromatológicos de la cascarilla de arroz.	56
Tabla 16. Propiedades cascarilla de arroz	57
Tabla 17. Velocidades de ensayo	61
Tabla 18. Comportamiento de resistencia a la compresión en diferentes composiciones de cascarilla de arroz.	63
Tabla 19. Resultados resistencia a la compresión muestras escogidas	67
Tabla 20. Comportamiento de resistencia a la tracción en diferentes composiciones de cascarilla de arroz.	72
Tabla 21. Resultados Densidad relativa	73
Tabla 22. Análisis de varianza	75
Tabla 23. Inversión a la producción de postes	78
Tabla 24. Costos variables	79
Tabla 25. Depreciación de equipos	80
Tabla 26. Producción anual de postes plásticos	80
Tabla 27. Predicción de TIR y VPN	81

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación de densidad	38
Ecuación 2. Ecuación de porcentaje de humedad	48
Ecuación 3. Contenido de cenizas	50
Ecuación 4. Obtención de fibra FDN	52
Ecuación 5. Obtención de fibra FDA	53
Ecuación 6. Porcentaje de lignina	55
Ecuación 7. Porcentaje de hemicelulosa	55
Ecuación 8. Porcentaje de celulosa	56
Ecuación 9. Densidad relativa	61
Ecuación 10. Densidad	62

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1 .Partes de extrusora.	22
Imagen 2 . Partes de husillo	22
Imagen 3 . Extrusora de doble husillo	23
Imagen 4 . Molécula termoplástica	26
Imagen 5 . Curva de esfuerzo deformación	27
Imagen 6 . Estructuras isotáctica, atáctica y	28
Imagen 7 . Estructura del polietileno de alta densidad	31
Imagen 8 . Muestras de plásticos procesados	35
Imagen 9 . Prueba de densidad	37
Imagen 10 . Muestras prueba de solubilidad con	39
Imagen 11 . Espectrograma mezcla de PEAD con fibra (tela)	42
Imagen 12 . Espectrograma plástico Polietileno (PEAD).	43
Imagen 13 . Espectrograma plástico polietileno (PEAD) teórico.	43
Imagen 14 . Espectrograma de polipropileno.	44
Imagen 15 . Espectrograma de polipropileno teórico.	44
Imagen 16 . Espectrograma plástico PVC	45
Imagen 17 . Espectrograma plástico PVC	46
Imagen 18 . Espectrograma comparación PDAD y PP	47
Imagen 19 . Residuo fibra FDA	54
Imagen 20 . Solución ácida+ FD	54
Imagen 21 . Dimensiones de probeta mecánica	60
Imagen 22 . Probetas mecánicas	60
Imagen 23 . Efecto pandeo	62
Imagen 24 . Ensayo tracción	67
Imagen 25 . Comportamiento de curvas de esfuerzo y deformación	72

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Nombres de monómeros y polímeros	24
Cuadro 2. Monómeros representativos y polímeros	25
Cuadro 3. Descripción de material plástico	35
Cuadro 4. Resultados prueba de combustión	36
Cuadro 5. Resultados prueba de presencia de halógeno	37
Cuadro 6. Resultados prueba de solubilidad	39
Cuadro 7. Clasificación tipo de plásticos	40
Cuadro 8. Datos del número de onda y grupo funcional.	43
Cuadro 9. Comportamientos de muestras en agentes químicos	74

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Ensayo a compresión	64
Gráfica 2. Muestra 9. Curva de esfuerzo vs deformación	65
Gráfica 3. Muestra 9 Curva de esfuerzo vs deformación	65
Gráfica 4. Muestra 11 Curva de esfuerzo vs deformación	66
Gráfica 5 . Muestra 9 Curva de esfuerzo vs deformación	68
Gráfica 6. Muestra 9.1 Curva de esfuerzo vs deformación	68
Gráfica 7. Muestra 9.2 Curva de esfuerzo vs deformación	69
Gráfica 8. Muestra 10 Curva de esfuerzo vs deformación	69
Gráfica 9. Muestra 10.1 Curva de esfuerzo vs deformación	70
Gráfica 10. Muestra 11 Curva de esfuerzo vs deformación	70
Gráfica 11. Muestra 11.1 Curva de esfuerzo vs deformación	71
Gráfica 12. Ensayo a tracción	73
Gráfica 13. Interacción velocidad y composición	76
Gráfica 14. Interacción temperatura	76
Gráfica 15. Cantidad Demandada	81

LISTA DE ESQUEMAS

	pág.
Esquema 1. Clasificación Materiales compuestos	32

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ensayos de identificación de plásticos	91
Anexo B. Identificación de plásticos por combustión	92
Anexo C. Determinación de densidad y humedad	93
Anexo D. Ensayo de porcentaje de humedad y cenizas	94
Anexo E. Análisis bromatológico	95
Anexo F. Propiedades plásticos.	96
Anexo G. Ensayo resistencia a agentes químicos	97
Anexo H. Ensayo de densidad relativa	98
Anexo I. Resultados ensayo de resistencia a la compresión	99
Anexo J. Resultados obtenidos ensayo de tracción	100
Anexo K. Comparación de propiedades	101
Anexo L. Costos fijos de operación mensual	102
Anexo M. Flujo de caja libre	103

GLOSARIO

EXTRUSIÓN: la extrusión es un proceso de transformación de plásticos, donde se pueden manufacturar diferentes productos como tuberías, mangueras, fibras y una gran cantidad de perfiles. Este proceso se utiliza para mezclar y formular compuestos de plástico y producir materia prima.

FASE DISPERSA: es el material con el que se desea realizar el refuerzo del material de interés, para mejorar sus propiedades.

FASE MATRIZ: es la fase continua y es la que rodea a la otra fase llamada fase dispersa, la matriz es el material.

FIBRA VEGETAL: la fibra natural abarca una amplia variedad de fibras vegetales, animales y minerales. En la industria se refiere a la fibra de la madera y residuos del sector de la agricultura, como hojas, semillas etc

HUSILLO SIMPLE: este consiste en un cilindro lardo rodeado por un filete helicoidal. El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material.

MATERIALES COMPUESTOS: material que consta de dos o más materiales físicamente distintos y separables mecánicamente.

POLIETILENO: polímero de mayor volumen en el mundo debido a su alta dureza, ductilidad, excelente resistencia química, baja permeabilidad y absorción al agua siendo una opción atractiva para una variedad de aplicaciones

POLIPROPILENO: polímero termoplástico de gran consumo, con grandes aplicaciones ya que es un polímero versátil debido a que posee la capacidad para ser modificado y diseñado para diferentes aplicaciones

TERMOPLÁSTICOS: son plásticos que se caracterizan por que se ablandan con el calor y se pueden moldear para darle una gran variedad de formas, al enfriarse este volverá a endurecerse manteniendo sus características iniciales.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de material plástico recuperado (polietileno y polipropileno de alta densidad) y material vegetal (cascarilla de arroz), generando un poste plástico para el cercamiento de sectores agropecuarios. Este proyecto se desarrolló con la empresa Ecomaderas Plásticas y Tecnoparque nodo Bogotá.

Se determinaron las propiedades del material compuesto por medio de la caracterización de las materias primas utilizadas, para el polietileno de alta densidad y el polipropileno se realizaron pruebas de combustión, presencia de halógeno, solubilidad, densidad y espectrofotometría infrarroja. Con respecto a la cascarilla de arroz se realizaron pruebas de humedad, cenizas, densidad y análisis bromatológico.

Se desarrollaron las probetas mediante el proceso de extrusión, a diferentes condiciones de trabajo en cuanto a la composición de las materias primas, la temperatura y velocidad de la máquina extrusora; se realizaron 24 probetas a las cuales se les realizaron pruebas de compresión basados en la norma ASTM D-695, se escogieron las tres mejores probetas y se hicieron pruebas de tracción mediante la norma ASTM D-638, prueba de resistencia a agentes químicos y densidad relativa; al obtener los resultados se escogió la mejor probeta a las siguientes condiciones: proporción del 30% de cascarilla de arroz, una velocidad de 45 rpm y una temperatura de 280°C, siendo las mejores condiciones de operación para la elaboración del producto.

Palabras clave: extrusión, fibra vegetal, termoplásticos, polímeros, pruebas mecánicas

INTRODUCCIÓN

Colombia se destaca por la producción de cultivo de arroz, según el DANE el área sembrada de arroz mecanizado para el segundo semestre de 2015 fue de 295.971 hectáreas, con una producción de 1.558.000 toneladas de arroz, dicha producción genera grandes cantidades de cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz presenta diferentes propiedades y características que lo hacen un material llamativo para reutilizar. Es un material ignífugo, con alta estabilidad bioquímica, debido a su gran contenido de minerales, así como su alta concentración de silicio el cual está entre el 90 al 97%. La transformación de las propiedades fisicoquímica de la cascarilla de arroz comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica.

ECOMADERAS PLÁSTICAS es una empresa con más de diez años de experiencia en la utilización de materiales poliméricos reciclados dándoles un buen uso para el sector agropecuario industrial mobiliario. Debido a las propiedades que presenta la cascarilla de arroz y a las problemáticas ambientales que genera la producción de polímeros, esta empresa busca aprovechar la cascarilla de arroz como fuente de materia prima para realizar un aglomerado con los plásticos Polietileno y Polipropileno reciclados, generando así un nuevo producto que tenga buenas propiedades para el uso de cercado en el sector agropecuario con el uso de materiales más amigable con el medio ambiente y de menor costo de producción.

Carlos Córdoba, Jenny Mera, Diego Martínez y Jesús Rodríguez en 2010, exponen como la mezcla en proporciones adecuadas entre los plásticos reciclados de polietileno y polipropileno, con cantidades optimas de fibra natural tetera, permiten obtener materiales a bajos costos y que pueden reemplazar a los usados actualmente, como los productos de la madera

El presente proyecto pretende evaluar el uso de cascarilla de arroz en una mezcla de polietileno de alta densidad y polipropileno, buscando mejorar las propiedades mecánicas del material existente como lo son la resistencia a la compresión y a la tracción además de reducir el consumo de materias primas poliméricas; caracterizando las propiedades de la cascarilla de arroz y los plásticos manejados en la empresa; determinando la velocidad y la temperatura de trabajo para la fabricación del nuevo producto; evaluando las características y el costo del producto obtenido con respecto al otro producto generado en la empresa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de la cascarilla de arroz y plástico reciclado Polietileno y Polipropileno en postes para uso agropecuario.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar las propiedades de la cascarilla de arroz y el plástico tipo Polietileno y Polipropileno.
2. Determinar la velocidad y la temperatura para la fabricación del nuevo producto
3. Evaluar las características del producto obtenido con respecto al fabricado por ECOMADERAS PLÁSTICAS
4. Evaluar los costos del producto obtenido con el producto fabricado por ECOMADERAS PLÁSTICAS.

1. GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES DE ECOMADERAS PLÁSTICAS

Ecomaderas plásticas es una empresa que opera hace más de diez años, implementando como materia prima la utilización de materiales poliméricos recuperados para la elaboración de productos del sector agropecuario industrial mobiliario como: postes, corrales y establos, pesebreras, parques, pisos, estibas y vigas para minería. Eco maderas produce diariamente mediante el proceso de extrusión un aproximado de 200 postes, donde cada poste se elabora en un tiempo de 5 a 6 minutos.

1.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso de transformación de plásticos, donde se pueden manufacturar diferentes productos como tuberías, mangueras, fibras y una gran cantidad de perfiles. Este proceso se utiliza para mezclar y formular compuestos de plástico y producir materia prima.

Como se muestra en la **Imagen 1** la extrusora está compuesta por una tolva donde se genera la alimentación del material, por un husillo o un tornillo que gira dentro de una cavidad (cilindro), este husillo es capaz de empujar el material a una velocidad específica a ciertas condiciones de operación¹, también tiene las funciones de fusión o plastificación del material mezclado, desgasificación y conformado. Después de pasar el material por el husillo, este sale por una boquilla, en la cual se ubica el perfil o molde para obtener la forma deseada, una vez que el fluido se encuentra en el molde se procede a retirarlo y a realizar el enfriado². Cabe aclarar que no todas las funciones descritas se realizan durante el proceso y en las diferentes extrusoras.³

Los termoplásticos son los materiales más utilizados debido a que estos materiales al ser calentados las relaciones intermoleculares se debilitan y se vuelven más suaves y se transforman en fluidos, lo que hace que este tipo de materiales se puedan moldear de una manera más fácil, al ser enfriados se convierten en sólidos.⁴

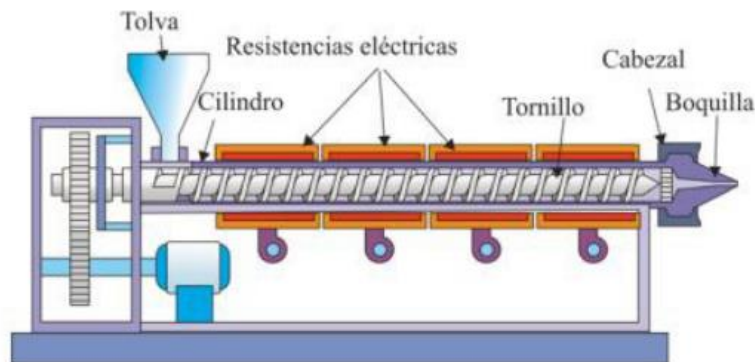
¹ RAMOS DE VALLE, Luis francisco. Extrusión de plásticos: principios básicos. México: Editorial Limusa, S.A de C.V., 2012. p69. ISBN 978-968-18-4504-9.

² RAMOS DE VALLE, Op. Cit, p 69.

³BELTRÁN RICO, Maribel., MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros: procesado y propiedades. España: Universidad de alicante, Facultad de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química. 2012

⁴ CORNISH ALVARE, María Laura. El ABC de los plásticos. Universidad iberoamericana. 1997. 138 p. ISBN 9688592838

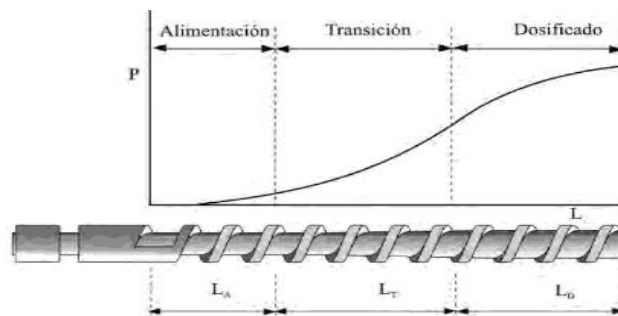
Imagen 1 .Partes de extrusora.



Fuente: BELTRÁN RICO, Maribel., MARCILLA, Antonio. *Tecnología de polímeros: procesamiento y propiedades.* España: Universidad de Alicante, 2012, 101 p.

Las extrusoras se dividen en tres zonas como lo indica la **Imagen 2**. La primera zona la cual es la zona de alimentación es la que se encuentra más cercana a la tolva, en donde la profundidad del husillo es la máxima, la función es compactar el material alimentado en forma sólida densa y transportarlo hacia la zona siguiente. La segunda zona es la de transición o compresión donde la profundidad del cilindro o canal se reduce de una forma gradual. Mientras el material sólido se compacta, el aire que pudiese quedar atrapado escapa hacia la alimentación. En esta zona sucede el proceso más importante el cual es la fusión. La dosificación es la tercera y última zona del husillo, esta es la parte cercana a la boquilla, aquí el material fundido es homogenizado y presurizado para que el material pueda salir de la boquilla y así dirigirse al molde.

Imagen 2. Partes de husillo

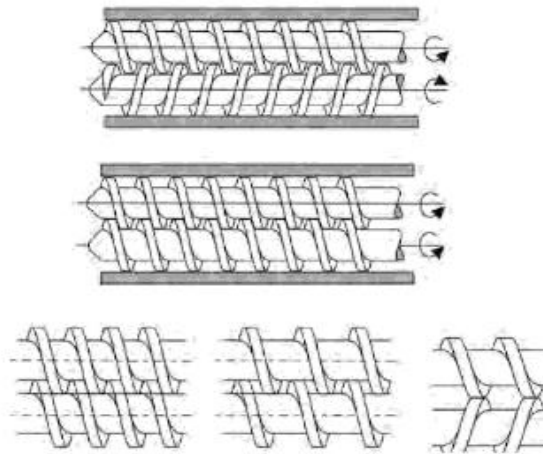


Fuente: BELTRÁN RICO, Maribel., MARCILLA, Antonio. *Tecnología de polímeros: procesamiento y propiedades.* España: Universidad de Alicante, 2012, p. 102

Las extrusoras pueden trabajar entre 10 a 500 rpm, y según el tamaño pueden proporcionar caudales de 2000kg/h de material. Como se muestra en la **Imagen 3**

existen una gran variedad de extrusoras, como por ejemplo las multitornillo, estas presentan varias ventajas con respecto a las de un solo tornillo (husillo), como la buena capacidad de mezclado, la desgasificación y el mayor control del tiempo de residencia y distribución.⁵ En este trabajo se utilizó una extrusora de un sólo husillo, haciendo total importancia en esta.

Imagen 3. Extrusora de doble husillo



Fuente: BELTRÁN RICO, Maribel., MARCILLA GOMIS, Antonio. *Tecnología de polímeros: procesado y propiedades*. España: Universidad de Alicante, 2012, p. 102

1.3 PLÁSTICOS

Los plásticos están conformados por un grupo de monómeros, donde los monómeros son compuestos de bajo peso molecular y cuando se unen con otros compuestos iguales o diferentes forman macromoléculas más conocidas como polímeros. Por lo general los plásticos son polímeros de alto peso molecular caracterizándose por la repetición de moléculas combinándolas para así formar moléculas mucho más grandes. Son materiales que se caracterizan por su elasticidad y flexibilidad permitiendo así la facilidad para moldearlos y destinarlos a diferentes aplicaciones. Siendo materiales orgánicos y materiales sintéticos donde contienen como elemento principal el carbono, además del hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.

Los primeros plásticos se empezaron a desarrollar cuando se buscaba la sustitución de materiales costosos y pesados como el marfil, así en 1860 un Norteamericano presento la celuloide obtenida por la reacción de ácido nítrico un

⁵BELTRÁN RICO, Op. Cit, p 102.

material para producir bolas de billar⁶. El proceso que condujo a los plásticos modernos fue la sintetización: partir de monómeros o moléculas sencillas para obtener polímeros mediante una reacción química polimerizante. De esta manera en los años 30 a partir del gas etileno que se polimerizaba bajo acción de calor y presión, se formó el primer material termoplástico conocido como el polietileno. Empezaron a experimentar para así generar nuevos plásticos con distintas características, para producir cloruro de polivinilo o más conocido como PVC reemplazando en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro.

1.3.1 Tipos de monómeros. Los monómeros son moléculas de bajo peso molecular, generalmente de la química orgánica, estos se combinan con moléculas de la misma naturaleza para formar productos de alto peso molecular, denominados polímeros.

Ramos⁷ afirma que existen dos tipos de monómeros; las olefinas y los compuestos orgánicos que tienen en la molécula funciones orgánicas reactivas, es decir son compuestos funcionalizados. Las olefinas son alquenos que al unirse consigo misma un número de veces origina una macromolécula, es decir que a partir de una olefina se forma un hidrocarburo saturado, una parafina de gran tamaño molecular todo gracias a una reacción de polimerización. En el **Cuadro 1** se muestran las olefinas más representativas y los nombres de los plásticos correspondientes.

Cuadro 1. Nombres de monómeros y polímeros

Monómero	Polímero
CH ₂ =CH ₂ etileno	Polietileno (PE)
CH ₂ =CH-CH ₃	Propileno polipropileno (PP)
CH ₂ =CHCl cloruro de vinilo	Policloruro de vinilo (PVC)
CH ₂ =C(CH ₃)-CO-OCH ₃	Polimetacrilato de metilo (PMMA)

Fuente: RAMOS CASTELLANOS, Pedro. Residuos: alternativas de gestión. Universidad de salamanca. Vol 53 de colección Aquilafuente. 2003. ISBN 8478006958, 9788478006953

⁶ SALADO, R. J. Los materiales plásticos en tecnología. Innovación y experiencias educativas.[online] enero 2010 vol. 26 [citado 2016-09-06] Disponible en <http://goo.gl/bSLG4R> .ISSN 1988-6047

⁷ RAMOS CASTELLANOS, Pedro. Residuos: alternativas de gestión. Universidad de salamanca. Vol 53 de colección Aquilafuente. 2003. ISBN 8478006958, 9788478006953

Los monómeros funcionalizados deben poseer como mínimo dos grupos funcionales reactivos, sean de la misma naturaleza o no. Así la reacción puede ocurrir una gran cantidad de veces para la unión de un número importante de monómeros. Estos suelen ser diaminas, dialcoholes, dicarboxílicos, aminoácidos, hidroxiaácidos etc.

A continuación en el **Cuadro 2** se presentan los monómeros que dan lugar a los principales polímeros.⁸

Cuadro 2. Monómeros representativos y polímeros

Monómeros	Polímeros
HOOC-(CH ₂) ₄ -COOH ácido adípico H ₂ N-(CH ₂) ₆ -NH ₂ hexametildiamina	(NH-CH ₂)-NH-CO-(CH)- CO- nylon 6,6
HOOC-COOH ácido tereftálico HO-CH ₂ -CH-OH etilenglicol	(OC-CO-O-CH-CH-O) politereftalato de etileno (PET) (poliéster)
HO fenol H-CHO formaldehído	baquelita (resinas fenólicas)
(O=C=N) R diisocianato OH-CH ₂ -CH ₂ OH glycol	Uretano
e- caprolactama	nylon 6 (poliamida)
urea y formaldehído	resinas ureicas

Fuente: RAMOS CASTELLANOS, Pedro. *Residuos: alternativas de gestión. Universidad de salamanca. Vol 53 de colección Aquilafuente. 2003. ISBN 8478006958, 9788478006953*

1.3.2 Clasificación de plásticos. Los plásticos se pueden clasificar según el comportamiento respecto a la temperatura donde los dos grandes grupos en que se dividen son en termoestables y termoplásticos y según la estructura molecular donde se encuentran los amorfos, semicristalinos y elastómeros.

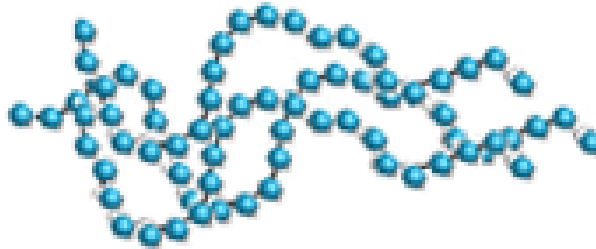
⁸ libd p. 152-153

1.3.3.1 Termoplásticos. Esta clase de plásticos se caracterizan por ser sólidos a temperatura ambiente y bajo calentamiento se ablandan hasta que alcanzan su punto de fusión y se convierten en líquidos viscosos⁹, si este se enfría por debajo de su punto de fusión se resolidifica volviendo a su estado físico inicial. Gracias a este comportamiento pueden ser reprocesados varias veces sin cambios aparentes en las propiedades.

Los cambios de estado que puede presentar los termoplásticos se dan siempre y cuando se calienten las veces que se quiera pero sin llegar a la descomposición química de los materiales. Del Rio¹⁰ afirma que están compuestos por un gran número de moléculas lineales y cuya unión se basa en los efectos de fuerzas intermoleculares físicas, las fuerzas de valencia secundarias como se presenta en la **Imagen 4**.

Usal¹¹ asegura que para que un polímero sea clasificado como termoplástico si es material amorfo debe tener una temperatura de transición vítrea T_g y si es material cristalino debe tener una temperatura de fusión T_m , superior a la temperatura ambiente. La gran mayoría de termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, económicos y reciclables. Debido a que son materiales que se funden no tienen aplicaciones a altas temperaturas debido a que se comienzan a reblandecer por encima de T_g generando pérdida en las propiedades mecánicas.

Imagen 4. Molécula termoplástica



Fuente: La web de los adhesivos (2011-2016). Termoplásticos.
Disponble en: <http://www.losadhesivos.com/termoplastico.html>
Recuperado el 26 de septiembre de 2016.

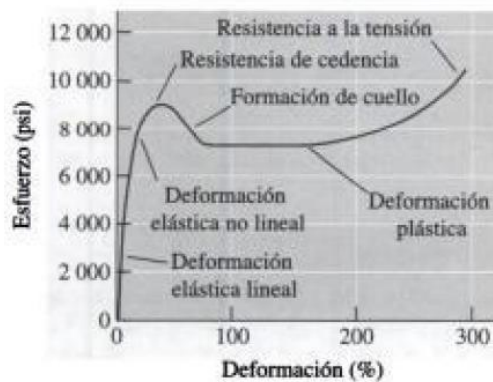
⁹ libd p 16- 18

¹⁰ libd p 16

¹¹ USAL. Enseñanzas técnicas materiales plásticos. [online]. [citado 2016-09-06] Disponible en <http://ocw.usal.es/eduCommons/ensenanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/PLASTICOS.pdf>

1.3.3.2 Propiedades mecánicas. Askeland¹² expone que el comportamiento de los termoplásticos es no newtoniano, esto quiere decir que el esfuerzo y la deformación no se relacionan linealmente para una mayor parte de la curva esfuerzo-deformación. Cuando a un termoplástico se le aplica una fuerza externa, se generan deformaciones elásticas como plásticas. El comportamiento mecánico esta finamente relacionado en como las cadenas poliméricas se mueven bajo una carga en relación con las demás. La deformación depende de la velocidad a la cual se le aplica la carga al material y el tiempo. En la **Imagen 5** se muestra la curva de esfuerzo-deformación.

Imagen 5. Curva de esfuerzo deformación



Fuente: ASKELAND Donald R. and Phulé Pradeep P. "CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES". 4ta Edición. International Thompson Editores S.A. México. 2004, ISBN 970-688-361-3. pp: 962

1.4 POLIPROPILENO

El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico de gran consumo, con grandes aplicaciones ya que es un polímero versátil debido a que posee la capacidad para ser modificado y diseñado para diferentes aplicaciones. Puede ser procesado en un amplio intervalo de condiciones debido a su comportamiento térmico. Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del polipropileno le permiten ser aplicado en una amplia variedad de productos formados mediante procesos de extrusión o de inyección. El polipropileno (PP) es una poliolefina que se sintetiza

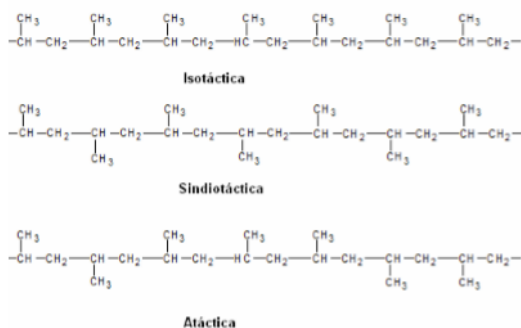
¹² ASKELAND, D; PHULÉ, P. "CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES". 4ta Edición. International Thompson Editores S.A. México. 2004, ISBN 970-688-361-3. pp: 962. Traducido del inglés de la obra: "The Science and Engineering of Materials", 4th. Edition. Bruce Cole 2003 ISBN 0-534-95373-5.

mediante catálisis a partir del propileno para formar un homopolímero o copolímeros con otras olefinas.¹³

La estructura de la unidad monomérica del PP, el propileno, tiene un carbono asimétrico que induce el fenómeno de orden a la estructura macromolecular. Se pueden encontrar tres estereoisómeros con un comportamiento diferente con respecto a la estructura espacial de la cadena del polímero, estas son: isotáctico, atáctico, y sindiotáctico, que se muestran en la **Imagen 6**, siendo el isotáctico y sindiotáctico materiales cristalinos aunque la temperatura de fusión del sindiotáctico es inferior a la del isotáctico y por el contrario el polímero atáctico no presenta ningún tipo de cristalinidad debido a su carencia de todo tipo de orden¹⁴.

El polímero isotáctico es la forma más comercialmente utilizada con un punto de fusión de 165°C. A diferencia del polietileno que cristaliza en forma de zigzag, el polipropileno isotáctico cristaliza en forma helicoidal debido a la presencia del grupo metilo en la cadena, la cantidad de isotacticidad influye en las propiedades de la cadena y como la cantidad de material isotáctico (a menudo cuantificado por un índice isotáctico) aumenta, así mismo aumentará la cristalinidad generando como resultado un mayor módulo y dureza.¹⁵

Imagen 6. Estructuras isotáctica, atáctica y sindioatáctica del polipropileno



Fuente: DEL RÍO BASORA, F, HERNÁNDEZ, S y SOSA, D. *Estudio técnico para la aplicación de polímeros termoplásticos, termoestables y elastoméricos comerciales. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e industrias extractivas. México D.F. 1993*

¹³ VALLEJOS, María Angélica. Aprovechamiento integral del Cannabis sativa como material de refuerzo/carga del polipropileno. Universitat de Girona. Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària. 2006. ISBN: 8469000683 p. 98- 99

¹⁴ libd p 16pp 35- 36

¹⁵ HARPER, A Charles. *Modern Plastics Handbook*. McGraw-Hill. 1999. ISBN 0-07-026714-6

Es un polímero no polar, buen aislante, ligero, con buena resistencia química aunque los disolventes clorados, la gasolina y el xileno pueden afectar el material, siendo un polímero que posee rigidez, dureza y resistencia mecánica más altas que el polietileno. Vallejos¹⁶ afirma que la principal limitación del polipropileno es su carácter apolar impidiendo la compatibilización con otros tipos de polímeros como son las poliamidas, los poliésteres, los policarbonatos y los elastómeros, así como diferentes refuerzos tales como la fibra de vidrio y materiales lignocelulósicos.

Harper¹⁷ afirma que otra debilidad es su comportamiento frágil a bajas temperaturas, debido a que los termoplásticos se vuelven quebradizos cerca a los 0°C. Es un polímero alifático lineal, tiene muchas propiedades similares al PEAD, pero el grupo metilo alternado sobre los átomos de carbono de la cadena principal genera efectos en el aumento de la temperatura de fusión y rigidez, en que se interfiere con la simetría molecular disminuyendo la cristalinidad y además genera productos de diferente tacticidad. En la **Tabla 1** se presenta un resumen de las propiedades y de las características para el polipropileno¹⁸

Tabla 1. Propiedades y características polipropileno

Propiedad	Polipropileno
Peso específico g/cm ²	0,902-0,096
Índice de refracción nd*5	1,49
Resistencia a la tracción, psi	4300-5500
Alargamiento %	200-700
Módulo de tracción 10*5 psi	1,6-2,3
Resistencia al impacto de entalladura	0,5-2
Temperatura de flexión térmica ° f 264 psi	125-140
Constante dieléctrica, 1000ciclos	2,2-2,6
Perdida dieléctrica 1000ciclos	0,0005-0,0018
Absorción de agua, varilla de 1/8", 24horas	0,01
Velocidad de combustión	lenta

¹⁶ VALLEJOS, María Angélica. Aprovechamiento integral del Cannabis sativa como material de refuerzo/carga del polipropileno. Universitat de Girona. Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària. 2006. ISBN: 8469000683 p 38

¹⁷ HARPER, A Charles. Modern Plastics Handbook. McGraw-Hill. 1999. ISBN 0-07-026714-6 pp. 1,61

¹⁸ DEL RÍO BASORA, F, HERNÁNDEZ, S y SOSA, D. Estudio técnico para la aplicación de polímeros termoplásticos, termoestables y elastoméricos comerciales. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e industrias extractivas. México D.F. 1993

Tabla 1. (Continuación)

Propiedad	Polipropileno
Efecto de la luz solar	necesita protección
Efecto de los ácidos y bases fuertes	Resistente
Efecto de los disolventes orgánicos	resistente por debajo soluble 80°C

Fuente: DEL RÍO BASORA, F, HERNÁNDEZ, S y SOSA, D. *Estudio técnico para la aplicación de polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros comerciales. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e industrias extractivas. México D.F. 1993*

1.5 POLIETILENO

El polietileno (PE) es el polímero de mayor volumen en el mundo debido a su alta dureza, ductilidad, excelente resistencia química, baja permeabilidad y absorción al agua siendo una opción atractiva para una variedad de aplicaciones. El polietileno está limitado por su límite elástico y punto de fusión aunque sigue siendo un polímero muy versátil con variedad casi ilimitada debido al potencial de copolimerización y rango amplio de densidad.¹⁹

Actualmente se fabrican a gran escala dos tipos de polietileno: los amorfos o de baja densidad y los cristalinos o de alta densidad; los primeros tienen bajo peso molecular y sus cadenas son ramificadas (aproximadamente una cadena lateral cada 50 carbonos); los de alta densidad tienen mayor peso molecular y presentan cadenas lineales, en la **Tabla 2** se presentan las propiedades del polietileno de baja densidad y de alta densidad.²⁰

Tabla 2. Propiedades del polietileno de baja densidad y del polietileno de alta densidad

Polietileno	Pm	Densidad	Cristalinidad	Pf (°C)	Resisten. mec
De baja densidad	100000 a 75000	0,92	50%	115	100 kg/cm ²
De alta densidad	75000 a 100000	0,96	80- 90%	135	280 kg/cm ²

Fuente: Primo, Eduardo. *Química Orgánica básica y aplicada de la molécula a la industria Tomo 1. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverté S.A. ISBN 84-291-7953-4*

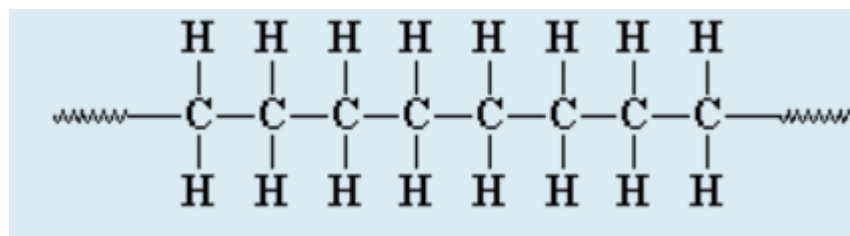
¹⁹ HARPER, A Charles. *Modern Plastics Handbook*. McGraw-Hill. 1999. ISBN 0-07-026714-6 p 1,40

²⁰ PRIMO, Eduardo. *Química Orgánica básica y aplicada de la molécula a la industria Tomo 1. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverté S.A. ISBN 84-291-7953-4*

En la investigación se usa polietileno de alta densidad debido a la facilidad de adquirirlo y manipularlo, en la **Imagen 7** se presenta la estructura del polietileno de alta densidad (HDPE) que se empezó a obtener sometiendo el etileno a bajas presiones y en presencia de catalizadores. Se distinguen dos procesos: Proceso Phillips, que utiliza como catalizador óxido de cromo y el Proceso Ziegler que utiliza como catalizador tetracloruro de titanio o derivados. Ambos se utilizan presiones inferiores a 30 atmósferas y temperaturas del orden de los 60- 120°C. La presencia de los catalizadores da lugar a cadenas lineales muy poco ramificadas.²¹

Harper²² afirma que el método más común de procesamiento del polietileno de alta densidad es el moldeo por soplado, donde el material se convierte en botellas y artículos para el hogar. También es comúnmente moldeado por inyección para artículos de hogar, juguetes, envases de alimentos, y películas de HDPE que se encuentran en bolsas de supermercados y de basura.

Imagen 7. Estructura del polietileno de alta densidad



Fuente: Eis. Polietileno de alta densidad (PEAD) Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso0708/pe/polietileno%20de%20alta%20densidad.htm>. Recuperado el 26 de septiembre de 2016

1.6 MATERIALES COMPUESTOS

Son materiales multifásicos que se obtienen a partir de la combinación artificial de distintos compuestos con el objetivo de alcanzar propiedades que los materiales individuales por sí sólo no pueden obtener.²³ Estos pueden ser seleccionados para conseguir combinaciones no usuales de rigidez, dureza, conductividad, peso, resistencia a la corrosión y a altas temperaturas.

Este tipo de materiales están conformados por una fase matriz y una fase dispersa. Las propiedades de los compuestos formados son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la

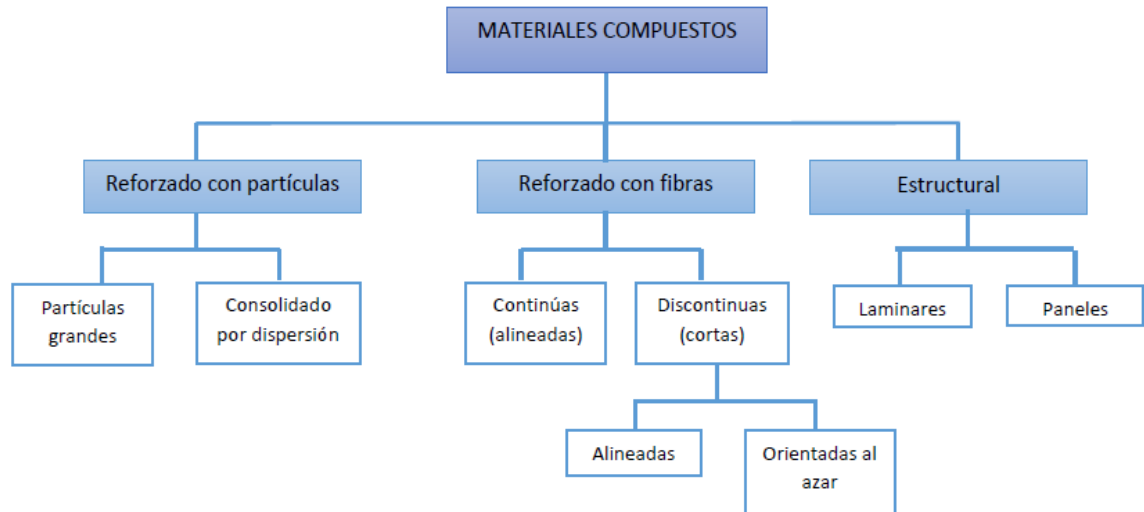
²¹ BILURBINA, Luis y LIESA, Francisco. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. MARCOMPO SA. España. 1990. ISBN 84-267-0790-4

²² HARPER, A Charles. Modern Plastics Handbook. McGraw-Hill. 1999. ISBN 0-07-026714-6

²³ CHUNG, D.L Deborah. Composite Materials: science and applications. USA: Springer. 1p. ISBN 978-1-84882-831-5

geometría de las fases dispersas. La geometría de las fases dispersas significa, la forma, el tamaño, la distribución y la orientación de la partícula. Los materiales compuestos se clasifican como se muestra en el **Esquema 1**.

Esquema 1. Clasificación Materiales compuestos



1.6.1 Materiales compuestos reforzados con fibras. Los materiales compuestos reforzados con fibras se diseñan para conseguir una elevada rigidez a baja densidad y resistencia. Estas características se expresan mediante los parámetros de resistencia específica y modulo específico. Estas corresponden respectivamente a la relación entre la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y el peso específico.

1.6.2 Concentración y orientación de la fibra. La concentración, la orientación y distribución de las fibras contribuyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos. La orientación es un aspecto importante y en la cual se presentan dos casos; la alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras, y la alineación al azar. Las fibras continuas habitualmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear, o se pueden orientar al azar

Al conseguir una distribución uniforme de la fibra hace que las propiedades del material sean aún mejores.²⁴

²⁴ D. CALLISTER, William Jr. Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Editorial Reverté. S.A. ISBN 9788429172539

1.6.3 Material compuesto de fibras vegetales. La fibra natural abarca una amplia variedad de fibras vegetales, animales y minerales. En la industria se refiere a la fibra de la madera y residuos del sector de la agricultura, como hojas, semillas etc. estas fibras contribuyen en gran medida al comportamiento estructural cuando se utiliza en materiales plásticos, que pueden proporcionar un refuerzo significativo para el nuevo material.²⁵

Estos materiales están formados básicamente por dos fases, una plástica continua la cual es denominada matriz, esta puede incluir una diversidad de polímeros como el polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta y de baja densidad (PEAD y PDBD), etc. La otra constituida por una llamada refuerzo. Las fibras naturales utilizadas como reforzantes de compuestos poliméricos, se caracterizan por su gran contenido celulósico, que se obtienen a partir de la transformación de la madera, de las plantas de hoja larga, etc.²⁶

La gran ventaja de utilización de estos materiales viene de su bajo costo, baja densidad, alta resistencia específica, biodegradabilidad y mínima degradación de propiedades mecánicas durante la manufactura con termoplásticos.

1.7 CASCARILLA DE ARROZ

González²⁷ afirma que la cascarilla de arroz es un subproducto proveniente del proceso de molienda del arroz, el cual se encuentra acumulado en las instalaciones molineras que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Sus principales propiedades físico-químicas son: la baja tasa de descomposición, liviano, buena aireación y buen drenaje, además se caracteriza por un bajo contenido de celulosa (40 %), presenta un valor nulo por ser desecho y además es usado a baja escala respecto a su nivel de producción y por esta razón se evidencia la posibilidad de usarla como material refuerzo o carga en una matriz polimérica en esta investigación.

En la **Tabla 3** se presentan algunas características de la cascarilla de arroz.

²⁵ THOMAS, Sabu, POTHAN, A. Laly. Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: from Macro to Nanoscale. USA: Old city Publish, Inc. 2008. 3 p.

²⁶ Mg. SILVA VELA, Alejandro Oscar. Estudio del comportamiento mecánico de compuestos de mezcla polimérica con adición de cascara de arroz y compatibilizante. Tesis de Doctorado Doctor mecánico. Arequipa-Perú. Universidad Nacional De San Agustín, Escuela de Posgrado. Facultad de Ciencias Naturales y Formales.

²⁷ GONZÁLEZ, Juliana y GONZÁLEZ, Claudia. Aprovechamiento y reutilización de ABS POST- consumo en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz. Universidad Industrial de Santander 2010. Bucaramanga

Tabla 3. Características de la cascarilla de arroz

Densidad a granel	0,12-0,13 g/ml	Azufre	0,12-1,14 %
Capacidad de intercambio catiónico	2-3%	Hierro	200-400ppm
Retención de humedad	0,10-0,12L/L	Manganeso	200-800ppm
Nitrógeno	0,50-0,60%	Cobre	3-5ppm
Fósforo	0,08-0,10%	Zinc	15-30ppm
Potasio	0,20-0,40%	Boro	4-10ppm
Calcio	0,10-0,12%	Cenizas	12-13%
Magnesio	0,10-0,12%	Silice(SiO ₂)	10-12%
Fibra (celulosa)	39,05%	Lignina	22,80%
Proteínas	3,56%	Extracto no nitrogenado	6,60%

Fuente: GONZÁLEZ, Juliana y GONZÁLEZ, Claudia. Aprovechamiento y reutilización de ABS POST- consumo en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz. Universidad Industrial de Santander 2010. Bucaramanga

2. CLASIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Se realizó una clasificación de las materias primas para caracterizar el material utilizado en la fabricación del poste de cercamiento de zonas agropecuarias, también fue de gran utilidad para determinar las condiciones en las que se encontraron estos materiales mediante una serie de experimentaciones las cuales se describen en este capítulo y cómo afectan al producto final elaborado por la empresa y el producto a elaborar en la presente investigación.

2.1 CLASIFICACIÓN DE PLÁSTICOS

Se efectuaron diferentes pruebas para la identificación de los plásticos como combustión, densidad, presencia de halógeno y solubilidad e hinchamiento con el fin de caracterizar cada una de estas. El diagrama de flujo, está descrito en el **ANEXO A**. El material plástico reciclado con el que se elaboraron los postes, fueron especificados en la **Imagen 8** y **Cuadro 3** en los mencionados, se analizaron las 4 muestras tomadas para los ensayos.

Imagen 8. Muestras de plásticos procesados



Cuadro 3. Descripción de material plástico

Muestra	Color
M1	Blanco
M2	Verde
M3	Morado
M4	Azul

Las pruebas descritas anteriormente, son relativas debido a que no están sujetas a una normativa, conjunto a esto, se usaron para determinar la clase de plásticos que se manejaron. Dichas pruebas son muy utilizadas en la industria gracias a su facilidad y al corto tiempo que se requiere para realizar la prueba. La empresa española Ensinger S.A.²⁸ desarrolla este tipo de pruebas para la caracterización de sus plásticos, tomándolo así como referencia en esta investigación.

²⁸ ENSINGER, S.A. la empresa [en línea]. < <http://www.ensinger.es/es/> > [citado el 24 de agosto de 2016]

2.1.1 Prueba de combustión. Se realizó una identificación por medio de la prueba de combustión o pirolisis llevando cada muestra mediante unas pinzas o espátula, a una llama de un mechero con alcohol durante 5-20 segundos.²⁹ Se observó y se determinó el color de llama, combustibilidad, color del humo generado por el plástico, olor y el tipo de fusión, tomando como referencia el **ANEXO B**, señalando los resultados obtenidos en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Resultados prueba de combustión

Muestra	Color de humo	Color de la llama	Combustibilidad	Tipo de fusión	Olor
M1	Humo blanco, poco humo	Naranja con centro azul	Continua ardiendo después de retirar del mechero, genera chispas	No gotea, se carboniza	fenol
M2	Humo blanco, muy poco humo	amarilla y centro azul	Continua ardiendo tras quitar el mechero	Se derrite fácilmente, gotea	Intenso a parafina
M3	Humo blanco, muy poco	Amarilla y centro azul	Continua ardiendo tras quitar el mechero	Funde y gotea rápido	Parafina
M4	humo blanco	tonalidad amarilla, azul y contorno verde	Continua ardiendo tras quitar el mechero	Se ablanda y gotea	Ácido clorhídrico

²⁹ RODENAS PASTOR, Mercedes. Los materiales plásticos en tecnología industrial I: prácticas de identificación. En: Revista digital sociedad de la información. No. 14 (Dic., 2008); p.9. ISSN: 1578-326x.

2.1.2 Prueba de beilstein. Esta prueba se realizó tomando un alambre de cobre delgado y limpio de 5 cm de largo, se trasladó a la llama al rojo vivo. Posteriormente poniendo en contacto el alambre con un trozo de cada muestra por separado, impregnándolo y dirigiéndolo de nuevo a la llama durante un intervalo de 5 a 10 segundos, con intención de determinar la presencia de halógenos al observar un cambio de tonalidad en la llama, pasando a color verde.³⁰ A continuación se presentan los resultados en el **Cuadro 5**, donde solo la muestra cuatro evidenció la presencia de halógeno.

Cuadro 5. Resultados prueba de presencia de halógeno

Muestra	Presencia de halógeno
M1	NO
M2	NO
M3	NO
M4	SI

2.1.3 Prueba de densidad. La densidad de cada muestra se determinó por medio del método de inmersión, se tomaron 4 probetas de 10 mL con 6 mL de agua, sumergiendo totalmente la muestra y tomando lectura del volumen desplazado como se evidencia a continuación en la **Imagen 9**.

Imagen 9. Prueba de densidad muestra M2 y M3



La diferencia entre el volumen original y el desplazado, da el volumen de la muestra utilizando la **Ecuación 1**. Además se llevó a cabo una prueba de

³⁰ CENTRO NACIONAL DE COSERVACIÓN Y RESTURACIÓN. Prueba de Beilstein: Examen de materiales orgánicos y polímeros para detectar la presencia de coloro, con ejemplos de los productos probados. En: Notas del ICC 17/1. p 2-4

flotabilidad de todas las muestras variando la densidad del medio añadiendo al agua 5 gramos de sal para observar el comportamiento de las mismas. Esta práctica es muy usada en la industria para la separación de plásticos. Los resultados de estas dos pruebas se muestran en la **Tabla 4**.

Ecuación 1. Ecuación de densidad

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

Donde:

ρ = Densidad muestra

m= Masa muestra

v= Volumen de agua – Volumen desplazado

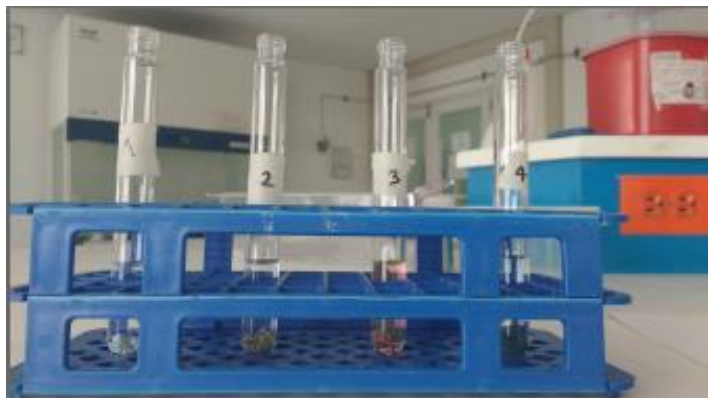
Tabla 4. Resultados prueba de densidad.

Muestra	Densidad(g/mL)	Flota
M1	0,967	SI
M2	0,9039	SI
M3	0,8883	SI
M4	0,9877	SI

2.1.4 Prueba de solubilidad. La solubilidad se determinó llevando cada muestra a un tubo de ensayo con diferentes solventes como: acetona, xileno, diclorometano y ciclohexanona hasta cubrir cada una de ellas en su totalidad, se dejó la muestra durante 2 horas y se agitó el tubo en periodos de 10-15 min.³¹ En la **Imagen 10** se presenta las muestras sumergidas en acetona.

³¹ RODENAS PASTOR, Mercedes. Los materiales plásticos en tecnología industrial I: prácticas de identificación. En: Revista digital sociedad de la información. No. 14 (Dic., 2008); p.9. ISSN: 1578-326x.

Imagen 10. Muestras prueba de solubilidad con acetona.



En el **Cuadro 6** se presentan los resultados de la prueba de solubilidad usando algunos de los disolventes orgánicos que existen en el mercado actual, debido a que abarcan una amplia variedad de tipos de plásticos siendo muy útil para la identificación de los plásticos que se evaluaron.

Con la prueba de solubilidad, se puede distinguir una diferencia clara entre materiales amorfos y semicristalinos. Los plásticos amorfos se disuelven al poco tiempo de estar en contacto con disolventes y generan grietas superficiales de forma inmediata, en cambio los plásticos semicristalinos suelen ser insensibles a los disolventes y la única forma que afecte el material es que esté en contacto por un largo período de tiempo.³²

Cuadro 6. Resultados prueba de solubilidad

Muestra	Acetona	Xileno	Diclorometano	Ciclohexanona	Hinchamiento
M1	NO	SI	NO	NO	SI
M2	NO	SI	SI	SI	NO
M3	NO	SI	SI	NO	NO
M4	SI (LENTO)	NO	NO	SI	SI

Mediante las pruebas que se realizaron y describieron anteriormente, se llegó a la identificación y clasificación de cada tipo de plástico presente en las cuatro muestras, como se muestra a continuación en el **Cuadro 7**.

³² ENSINGER, S.A. la empresa [en línea]. < <http://www.ensinger.es/es/> > [citado el 05 de septiembre de 2016]

Cuadro 7. Clasificación tipo de plásticos

Muestra	Color	Plástico
M1	Blanco	RF/PPO
M2	Verde	PDAD/PDBD
M3	Morado	POLIPROPILENO
M4	Azul	PVC

A partir de la serie de pruebas realizadas se encontraron plásticos como RF y PVC dentro del material utilizado para la elaboración del poste. El **Cuadro 7** indica una clasificación previa de los plásticos caracterizados. La **Tabla 5** presenta los diferentes rangos de las densidades. Para el PP, PDAD/PDBD y PVC estos valores están por debajo del promedio pero no lo suficiente presentados en la **Tabla 6**.

Se identificó un cambio en la densidad, esto puede darse por diferentes factores como el cambio de la cristalinidad, pérdida de plasticidad o absorción de solventes entre otros.³³ La cristalinidad es una propiedad importante debido a que muchos termoplásticos se cristalizan parcialmente al ser enfriados por debajo de su temperatura de fusión, las cadenas se acercan y se alinean estrechamente mientras las cadenas en espiral se organizan dentro del líquido formando una estructura ordenada y compacta, presentándose un incremento en la densidad, como se indica la temperatura afecta directamente esta propiedad, pudiendo generar un efecto inverso en la densidad.

Otro punto importante es que los polímeros ramificados tienen niveles menores de cristalinidad por ende la densidad es inferior. El polietileno de baja densidad presenta este caso, este es un polímero que tiene un grado de ramificación más alto que el polietileno de alta densidad.³⁴

³³ GUAJARDO, Adriana B.; Najar Laura E.; Prósperi Susana B.; Molina María G. propiedades de los plásticos reciclados, facultad de ciencias aplicadas a la industria, U.N.C.

³⁴ ASKELAND, Donald R. and PHULÉ, Pradeep P. "Ciencia e ingeniería de los materiales". 4ta Edición. International Thompson Editores S.A. México. 2004. 962 p. ISBN970-688-361-

Tabla 5. Densidades de diferentes plásticos

Polímero	Acrónimo	Densidad (g/cm ³)
Polipropileno	PP	0,90-0,91
Polietileno de baja densidad	LDPE	0,91-0,93
Polietileno de alta densidad	HDPE	0,94-0,96
Poliestireno	PS	1,04-1,06
Nylon 6	PA	1,13-1,14
Acrílico	PMMA	1,17-1,20
Policarbonato	PC	1,2
Poli(tereftalato de etileno)	PET	1,35
Poli (cloruro de vinilo)	PVC	1,35-1,45

Fuente: *Reciclaje de Residuos Industriales: aplicación a la fabricación de materiales para la construcción; Castells Elias Xavier*

Tabla 6. Comparación de densidades del PEBD, PEAD y PP

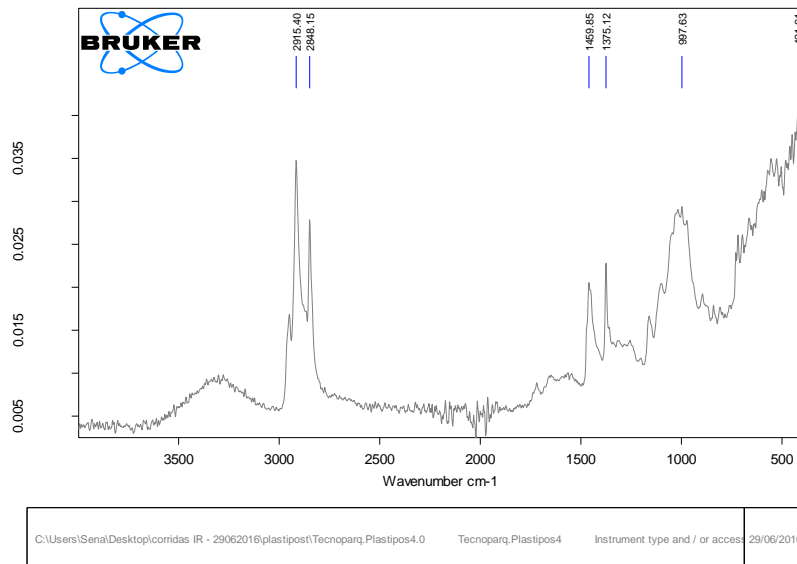
Polímero	Densidad promedio del material virgen(g/cm ³)	Densidad promedio del material procesado (g/cm ³)	Densidad promedio del material reprocesado (g/cm ³)
PEBD	0,923	0,913	0,904
PEBD	0,924	0,915	0,91
PP	0,908	0,885	0,876
PP	0,9	0,882	0,873
PEAD	0,954	0,948	0,933

Fuente: *propiedades de los plásticos reciclados, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, U.N.C.; Guajardo Adriana B.; Najjar Laura E.; Prósperi Susana B.; Molina María G.*

Finalmente para corroborar la clasificación desarrollada con anterioridad, se llevó a cabo un análisis de las muestras por medio de una espectrofotometría infrarroja mediante un espectrofotómetro marca Bruker llegando a los siguientes espectrogramas.

MUESTRA 1:

Imagen 11. Espectrograma mezcla de PEAD con fibra (tela)



En la **Imagen 11** se muestran las longitudes de onda entre 3000 cm^{-1} - 2500 cm^{-1} 1500 cm^{-1} - 1300 cm^{-1} , las cuales son características en el espectrograma de polietileno de alta densidad como se puede observar en la **Imagen 12**. La muestra 1 es una mezcla de polietileno de alta densidad y tela, esta proviene de la reutilización de pañales que realiza la empresa proveedora de materia prima a Ecomaderas Plásticas.

MUESTRA 2:

Brian Smith reporta los siguientes datos representados en la **Cuadro 8** y en la imagen 13 para el espectro infrarrojo del polietileno de alta densidad.³⁵

³⁵ Smith, Brian. Infrared spectral interpretation a systematic approach. New York.

Cuadro 8. Datos del número de onda y grupo funcional.

Pico	Numero de onda cm^{-1}	Grupo
A	2919	CH_2 asimétrico, tramo C-H
B	2850	CH_2 simétrico, tramo C-H
C	730-720	División CH_2

En la **Imagen 12** se muestra el espectro infrarrojo, donde se obtuvieron picos con valores de 2949.25 cm^{-1} para CH_2 asimétrico y en el tramo C-H. Para CH_2 simétrico y en el tramo C-H el correspondiente dato es de 2916.23 cm^{-1} . Los picos con valores de 1453.53 y 1375.35 cm^{-1} se ajustan a los datos del espectro consultado los cuales son 1472 y 1464 cm^{-1}

Imagen 12. Espectrograma plástico Polietileno (PEAD).

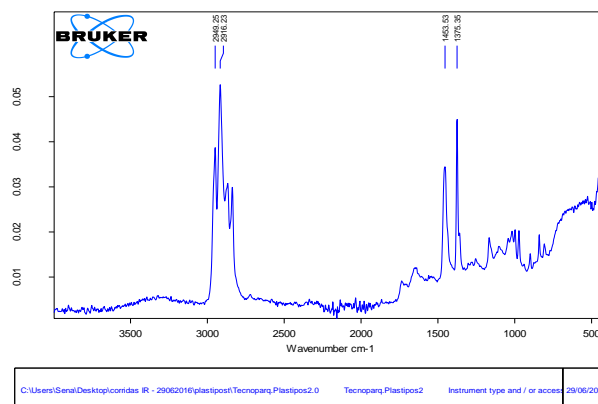
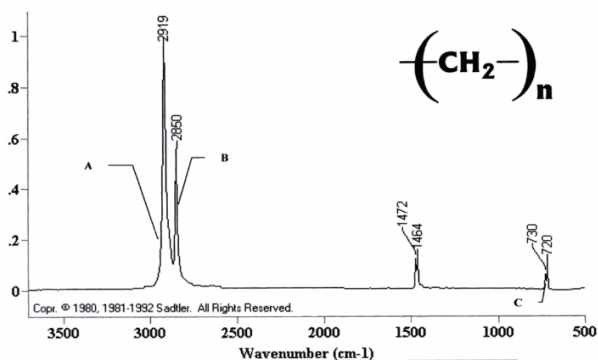


Imagen 13. Espectrograma plástico polietileno (PEAD) teórico.



Fuente: *Infrared spectral interpretation a systematic approach; Smith Brian*

MUESTRA 3:

La **Tabla 7** presenta datos bibliográficos de cada grupo que conforma la molécula de polipropileno, la cual se relaciona en los espectros infrarrojos para los picos de absorción adecuados con los datos de número de ondas definidas.³⁶ El rango de 2913.88 y 2846.64 cm^{-1} representa los grupos CH, CH_2 y CH_3 a un determinado tipo de vibración, así mismo sucede con los distintos picos obtenidos, los cuales identifican el material plástico. En la **Imagen 15** el intervalo de 1500-750 cm^{-1} describe con totalidad al espectro obtenido de la **Imagen 14**.

Imagen 14. Espectrograma de polipropileno.

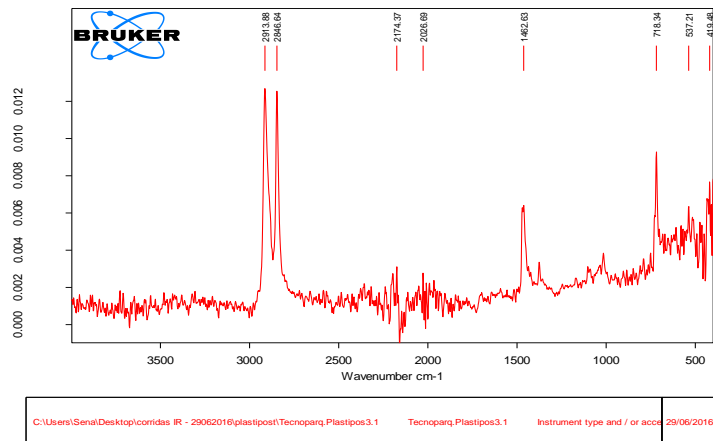
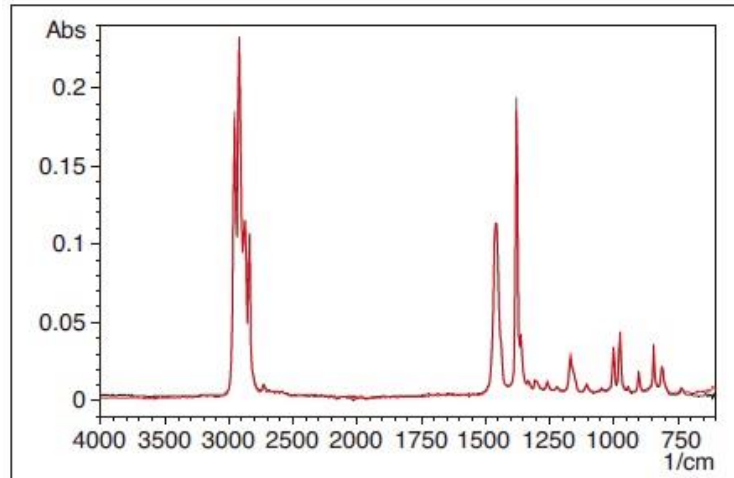


Imagen 15. Espectrograma de polipropileno teórico.



Fuente: *Deterioration of UV-Irradiation Resin by FTIR and DUH-211s Dynamic Ultra Micro Hardness Tester by Shimadzu; Shimadzu Scientific instruments.*

³⁶ WIESLAWA, Urbaniak-Domalaga, The use of the spectrometric technique FTIR-ATR to examine the polymers surface. Technical University of Lodz, department of material.2012.

Tabla 7. Longitudes de onda para los grupos funcionales

Wave number, cm	Absorbing and type of vibration
2916	va(CH ₂)
2959	va(CH ₃)
2881	vs(CH ₃)
2841	vs(CH ₂)
1460	đa (CH ₂)
1376	đs (CH ₃)
1357	yw(CH ₂ -CH)
1328	yw(CH ₂ -CH)
1302,1224,941	Carbon lattice pulsation
1170,1153	yw(CH ₃)đa (CH ₂) đ (CH)
975,899	yw(CH ₃)vr (CH ₂) vr (CH)
841,81	yr(CH ₂)vr (CH ₂) vr (CH ₃)
765	yw(CH ₂)

Fuente: *the use of the spectrometric technique FTIR-ATR to examine the polymers surface; Wiesława Urbaniak-Domalaga.*

MUESTRA 4:

Para el espectro del PVC de la **Imagen 17**, se evidencia la presencia de los grupos saturados C-H y CH₂ con un rango de deformación (picos) de 1430 cm⁻¹, los picos o bandas de estiramiento C-Cl se observan en el intervalo de 600-700 cm⁻¹.³⁷ En la **Imagen 16** se contemplan intervalos para los grupos C-H con CH₂ de 1453.56-1375.29 cm⁻¹, el grupo C-Cl presento el rango indicado con anterioridad

³⁷LITVINOT, Victor M. De, Prajna P. Spectroscopy of Rubbers and Rubbery Materials. United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2002.p.180. ISBN 1-85957-280-4

Imagen 16. Espectrograma plástico PVC

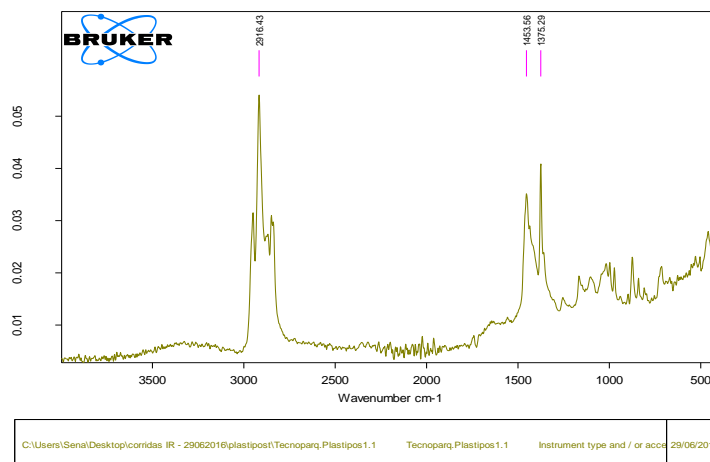
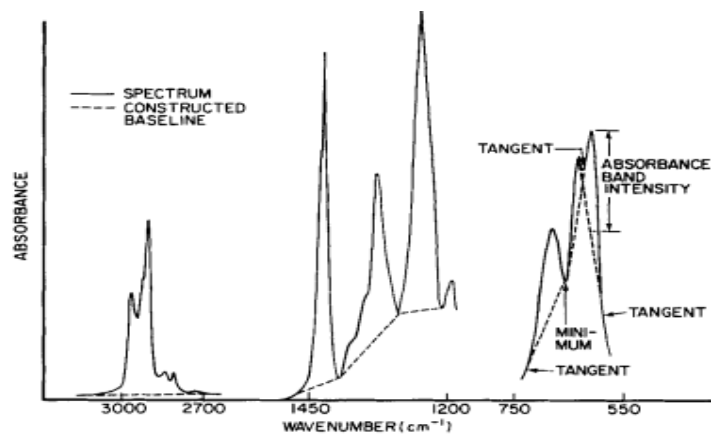


Imagen 17. Espectrograma plástico PVC

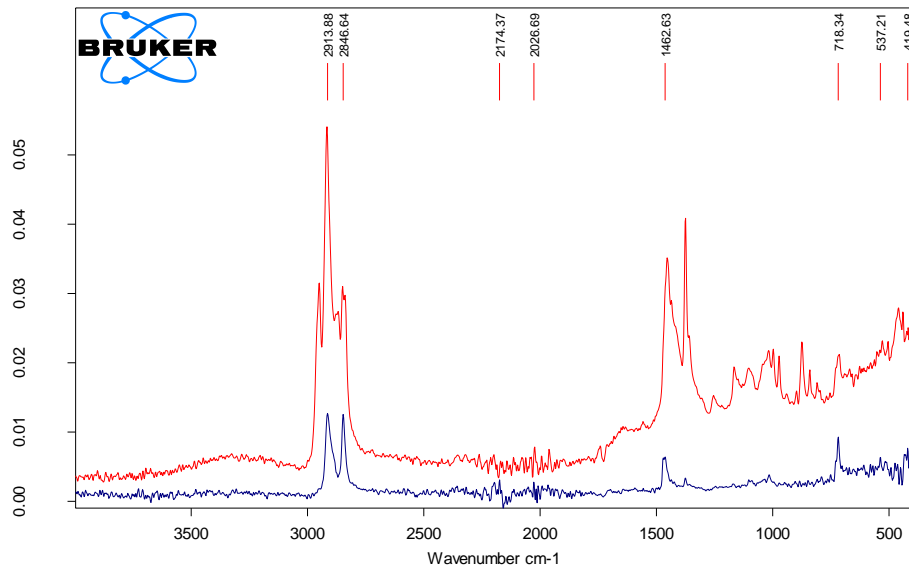


Fuente: *Spectroscopy of Rubbers and Rubbery Materials; Litvinot, Victor M; De, Prajna P.*

COMPARACIÓN MUESTRA 2 Y 3:

En la **Imagen 18** se encuentra la respectiva comparación de los espectros infrarrojos del polietileno de alta densidad y el polipropileno, debido a que son las materias primas importantes, para la fabricación del poste plástico.

Imagen 18. Espectrograma comparación PDAD y PP



2.2 CARACTERIZACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ

Las pruebas descritas a continuación se rigen por diferentes técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos y según David Quiceno y Marvin Mosquera³⁸ por normas que estudian el carbón ya que las fibras vegetales se comportan como el carbón de leña cuando son disipados por las llamas, en este caso se usa la ASTM 5142 que estudia el porcentaje de humedad y cenizas. Estas son pruebas utilizadas para determinar el estado en el que se encuentra la cascarilla de arroz. Estas pruebas recogen algunos parámetros físicos importantes de la fibra vegetal, debido a que según en las condiciones que se encuentre la fibra esta afectará las propiedades mecánicas del material final.

Se realizaron pruebas de densidad, porcentaje de humedad, contenido de cenizas, lignina y celulosa, las cuales se describen en el **ANEXO C**, **ANEXO D** y **ANEXO E**, esto con el fin de determinar las características de cascarilla de arroz utilizada en la producción del poste.

Según Córdoba³⁹ la densidad de la fibra afectará ya que si la fibra presenta una baja densidad, la densidad del material reforzado será más liviana, siendo una propiedad importante en la producción de estos materiales; en cambio en cuanto al valor de la lignina y celulosa la influencia en el material final será nula.

³⁸ MOSQUERA, David. Alternativas Tecnológicas Para El Uso De La Cascarilla De Arroz Como Combustible. Santiago de Cali.: Universidad Autónoma de occidente, 2010.

³⁹ CÓRDOBA, Carlos, et al. Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado, reforzado con fibra vegetal, tetera (stromanthe stromathoides). En: Revista iberoamericana de polímeros.2010. p. 417-427

2.2.1 Prueba de densidad. Esta prueba se realizó por triplicado para asegurar la precisión del resultado obtenido. Se pesó una cantidad de muestra de cascarilla de arroz en una balanza analítica Nimbus ADAM, posteriormente se tomó una probeta de 10mL y se agregaron 6mL de agua y se adicionó la muestra de cascarilla de arroz, después se observó el volumen desplazado que arrojó un valor presentado en la **Tabla 8** y se determinó la densidad de la cascarilla de arroz usando la **Ecuación 1**.

Arrojando como resultado un valor de densidad de 1,0835 g/mL de cascarilla de arroz, según David Quiceno y Marvin Mosquera⁴⁰ la densidad de la cascarilla de arroz es de 1420kg/m³ siendo 1,4 veces más pesada que el agua, es decir 1,420 g/mL; el valor experimental presentó un porcentaje de error de 23,69 % en comparación al teórico.

Tabla 8. Resultados de densidad de la cascarilla de arroz

Muestra	Peso muestra(g)	Volumen desplazado(ml)	Densidad (g/ml)
M1	0,2928	7,2	0,244
M2	0,1111	6,2	0,555
M3	0,3224	6,2	1,612
		Promedio	1,0835

2.2.2 Prueba de porcentaje de humedad. Esta prueba se realizó por triplicado para asegurar la precisión del resultado obtenido. Inicialmente se pesó la muestra húmeda en una balanza analítica Nimbus ADAM y luego se llevó a una mufla marca Nabertherm a una temperatura constante de 110°C +/- 5°C durante 24 horas; al transcurrir las 24 horas se pesó de nuevo la muestra y finalmente dando uso de la **Ecuación 2** se obtuvo el porcentaje de humedad.

Ecuación 2. Ecuación de porcentaje de humedad

$$\% \text{Humedad} = \frac{(mh + mr) - (ms + mr)}{mh} * 100$$

⁴⁰ MOSQUERA, David. Alternativas Tecnológicas Para El Uso De La Cascarilla De Arroz Como Combustible. Santiago de Cali.: Universidad Autónoma de occidente, 2010.

Donde:

mh= Masa muestra húmeda.

mr= Masa capsula de porcelana.

ms= Masa muestra seca.

En la **Tabla 9** se presentan los valores obtenidos de porcentaje de humedad para cada muestra. El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de masa seca⁴¹. Al realizar un promedio de los tres porcentajes de humedad se encontró un valor de 10,15 %. La cascarilla de arroz cuando sale del descascarador tiene un porcentaje de humedad que varía ente 5- 40 %, en época no lluviosa y la humedad promedio de la cascarilla esta aproximadamente entre el 8 y 15 %⁴².

Al ser una fibra vegetal que presentó bajo porcentaje de humedad (10,15 %) y que se encuentra en el rango de humedad promedio, indica que sí se puede utilizar en el proceso ya que como afirma Salvador⁴³ el grado de humedad afecta las propiedades mecánicas del material final, si se encuentra en altos porcentajes puede afectar el proceso generando burbujas en el material debido principalmente a que los plásticos son materiales hidrofóbicos y la humedad proveniente de la fibra impediría la adherencia entre las fibras y la matriz polimérica.

Tabla 9. Resultados de porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz

Muestras	Masa capsulas de porcelana	Masa de muestra húmeda (gramos)	Masa de porcelana+ Muestra húmeda (gramos)	Masa de porcelana+ Muestra seca (gramos)	%Humedad
M1	625,415	20,822	646,237	644,249	9,54
M2	617,418	23,096	640,514	638,591	8,32
M3	278,600	22,471	301,071	298,243	12,58
				Promedio	10, 15

⁴¹ ECHEVERRÍA, Manuel y LÓPEZ, Orlando. Caracterización Energética De La Cascarilla De Arroz Para Su Aplicación En La Generación De Energía Termoeléctrica. Quito.: Escuela Politécnica nacional, 2010.

⁴² AGUSTÍN VALVERDE, et al. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. En: SCIENTIA ET TECHNICA. Diciembre de 2007.vol. 37, p. 255.

⁴³ SALVADOR, MD et al. Caracterización de fibra vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticos. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, Instituto de tecnología de materiales

2.2.3 Prueba de contenido de ceniza. Esta prueba se realizó por triplicado para asegurar la precisión del resultado obtenido. Se realizó una prueba de ceniza en seco; se pesó 2 a 5 gramos de muestra de cascarilla de arroz y se calcinaron durante media hora en la mufla a una temperatura de 200°C hasta que no se desprendieron humos, luego se incineró durante dos horas a 500°C hasta obtener una ceniza de color grisáceo y se transfirió la muestra a un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente y se pesó el valor de las cenizas y por último usando la **Ecuación 3** se determinó el valor de contenido de cenizas. El procedimiento anterior se obtuvo de los laboratorios de alimentos de la UNAM⁴⁴

Ecuación 3. Contenido de cenizas

$$\text{contenido de cenizas}\% = \frac{\text{peso ceniza(g)}}{\text{peso muestra(g)}} * 100$$

Al realizar las pruebas el porcentaje de ceniza arrojó un valor de 16,67%, cantidad de residuo inorgánico que presentó la cascarilla de arroz, es decir la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo del material⁴⁵. En la **Tabla 10** se presentan las pruebas por triplicado.

Tabla 10. Resultado de porcentaje de cenizas de la cascarilla de arroz

Muestra	Peso capsula de porcelana	Peso muestra	Peso muestra ceniza+ capsula	Peso muestra ceniza	%Cenizas
M1	41,988	32,136	425,449	0,5569	17,32
M2	617,524	32,367	622,579	0,5055	15,61
M3	425,991	32,420	431,527	0,5536	17,07
				Promedio	16,75

Según Echeverría⁴⁶ la ceniza de la cascarilla de arroz está compuesta en su mayoría por sílice, encontrando también diferentes trazas de varios óxidos como se evidencia en la **Tabla 11**. Debido a su composición, la ceniza de la cascarilla de arroz es usada en la producción de cementos y derivados.

⁴⁴ UNAM, F. d. (2008). Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos.

⁴⁵ ECHEVERRÍA, Manuel y LÓPEZ, Orlando. Caracterización Energética De La Cascarilla De Arroz Para Su Aplicación En La Generación De Energía Termoeléctrica. Quito.: Escuela Politécnica Nacional, 2010

⁴⁶ Ibid. p. 56

Tabla 11. Composición de la ceniza de la cascarilla de arroz

Composición	Fracción en peso (%)
Sílice (SiO)	90-97
Óxido de Calcio (CaO)	0,2-1,5
Óxido de Magnesio (MgO)	0,1-2,0
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0,6-1,6
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	Trazas-1,75
Óxido de Fosforo (P ₂ O ₅)	0,3
Sulfatos (SO ₃)	0,10-1,13
Cloro (Cl)	0,15-0,40
Óxido de hierro (FeO ₃)	trazas-0,40
Óxido de manganeso (MnO ₂)	Trazas

Fuente: Proyecto de grado de la Escuela Politécnica Nacional; Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica; Echeverría Manuel Antonio, LÓPEZ, Orlando Antonio

2.2.4 Prueba de análisis bromatológico. El método de determinación de fibra ácido-detergente van Soest es utilizado para el análisis de alimentos, el cual determina la fracción de fibra cruda en los forrajes utilizados para la alimentación de rumiantes.⁴⁷ Este método presenta diferentes ventajas las cuales son; determinar la celulosa y la lignina ácido-detergente en una fibra aislada, retiene una gran cantidad la celulosa y la lignina presente en el material original, también se puede determinar el contenido de hemicelulosa y el contenido de pared celular⁴⁸

⁴⁷ MORA BRAUTIGÁN, Ileana. Nutrición animal. Costa rica: EUNED, 2007. 120 p; ISBN : 9977-64-557-4

⁴⁸ TREVIÑO J., AROSEMENA G. Determinación de la fracción fibra de los forrajes. Instituto de alimentación y productividad animal del C.S.I.C.

2.2.4.1 Fibra neutro detergente (fdn). La fibra neutro detergente contiene los componentes de la pared celular, determina la fibra total de los alimentos vegetales fibrosos.⁴⁹ Se preparó una solución de 300 ml de detergente neutro (SDN) a partir de 9 gramos de lauril sulfato de sodio, 5,4 gramos de EDTA sodio dihidratado, 2.043 gramos de tetraborato de sodio decahidratado, 1.35 gramos de fosfato dibásico de sodio anhídrido y 3 ml de etilenglicol, utilizando como solvente agua destilada. Se agitó y se calentó la solución a una temperatura 335°C llegando a ebullición para garantizar la estabilidad, se ajustó el rango de pH (6.9-7.1, medición por medio de papel indicador) adicionando ácido clorhídrico al 98-95 %.⁵⁰

Se pesó 1 gramo de muestra molida, la cual fue tamizada por una malla de 8mm, se depositó la muestra en un balón de fondo plano esmerilado de 300 ml con 100 ml de solución de detergente neutro. Se realizó el debido montaje en un soporte universal colocando el condensador para reflujo encima del balón de fondo plano y llevando a calentamiento en una plancha a 335 °C durante 10 min hasta alcanzar la ebullición. Se reguló la temperatura a 235 °C y se mantuvo la ebullición durante 60 min.

Una vez finalizado el tiempo se dejó enfriar la solución y se realizó la filtración de este. Durante la filtración se hicieron lavados a la fibra con 100 ml de agua destilada caliente por 4 veces, 30 ml de acetona y nuevamente con 300 ml de agua destilada caliente.

Se pesó una capsula de porcelana y a esta se le adicionó la fibra la cual fue secada en una mufla durante 24 horas a 100 °C, terminado este tiempo se pesó la capsula de porcelana con la fibra, utilizando la **Ecuación 4** se llegó a los resultados presentes en la **Tabla 12**.

Ecuación 4. Obtención de fibra FDN

$$\text{FDN} = \left[\frac{(\text{peso del crisol} + \text{pared celular (PC)}) - (\text{peso del crisol})}{\text{peso de muestra}} \right] * 100$$

⁴⁹ UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. 6.2 análisis de forrajes de Van Soest [En línea]. <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201111/EXE%20NUTRIANIMAL%20MODULO/6_2_analisis_de_forrajes_de_van_soest.html> [citado 15 de agosto 2016].

⁵⁰ SANTACOLOMA VARÓN, Luz Elena. Protocolo de prácticas para la escuela de ciencias agrícolas pecuarias y del medio ambiente. Universidad nacional abierta y a distancia, (enero 2014).

Tabla 12. Resultados % FDN

Muestra	%FDN
1	72,54
2	70,58
3	69,10
Promedio	70.74

2.2.4.2 Fibra ácido detergente (fda). Este método determina la cantidad fibrosa del tejido vegetal correspondiente a la celulosa y lignina. En esta se hidrolizan las peptinas y la hemicelulosa es soluble en el medio ácido. El FDA es el residuo del producto evaluado correspondientemente a la pared celular, se solubiliza el contenido celular a un pH ácido.

Se elaboró una solución de detergente ácido (SDA) de 600 ml a partir de 12 gramos de bromuro de cetil trimetilamonio, 16,8 ml de ácido sulfúrico concentrado al 96 %, se completaron los 300 ml con agua destilada. Se siguió el mismo procedimiento utilizado en la determinación de fibra FDN, la temperatura de ebullición utilizada fue de 420 °C durante 10/11 min, se reguló la temperatura a 165 °C por 60 min. Por medio de la **Ecuación 5** se llegaron a los resultados mostrados en la **Tabla 13**.

Ecuación 5. Obtención de fibra FDA

$$FDA = \left[\frac{(\text{peso del crisol} + \text{fibra}) - (\text{peso del crisol tarado})}{\text{peso de muestra}} \right]$$

Tabla 13. Resultados % FDA

Muestra	%FDA
1	63.85
2	58.57
3	70.75
Promedio	64.39

2.2.4.3 Lignina por método fda. Se pesaron 0.5 gramos del residuo de FDA y se llevaron en un Baker de 100 mL adicionando 25 mL de ácido sulfúrico al 72 %, dejando en reposo por 1 hora en reposo, posteriormente se agito la solución constantemente a temperatura ambiente por 1 hora ⁵¹. El detergente extrae la proteína como otros minerales que interfieren con la obtención y análisis del porcentaje de lignina. En la **Imagen 19** se muestra el residuo FDA que contiene celulosa-lignina descrito anteriormente y en la **Imagen 20** presenta la fibra FDA al entrar en contacto con la solución acida , donde esta solución acida separa la celulosa de la lignina.⁵²

Imagen 19. Residuo fibra FDA



Imagen 20. Solución ácida+ FD



⁵¹ CA. Determinación del contenido de fibra detergente acida en materias primas de origen vegetal y alimentos balanceados para animales [en línea]. <<https://portal.ica.gov.co/DocManagerSwift/User/HTMLServe.ashx?E=1ED1394A40635E56760AAE6A44B82126&PE=09C57DA5BE145FF5637DEA2CFC93475C&S=40&P=False&R=2067125528>> [citado 15 de agosto 2016].

⁵² UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. 6.2 análisis de forrajes de Van Soest [En línea] <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201111/EXE%20NUTRIANIMAL%20MODULO/6_2_analisis_de_forrajes_de_van_soest.html> [citado 15 de agosto 2016].

Se realizó una filtración a vacío obteniendo el residuo y eliminando el ácido restante de este, adicionando 200 mL de agua destilada caliente, después 30 ml de acetona y repitiendo el lavado con 100 mL de agua.

El residuo fue llevado a una capsula debidamente pesada y secada en una mufla durante 24 horas a una temperatura de 100- 105 °C. Después de ser secada la muestra se realizó una prueba de cenizas a una temperatura de 500 °C.⁵³

Para determinar el porcentaje de lignina se utilizó la **Ecuación 6** y en la **Tabla 14** se presentan los resultados obtenidos.

Ecuación 6. Porcentaje de lignina

$$\% \text{lignina} = \left[\frac{(\text{peso del crisol y lignina}) - (\text{peso crisol y cenizas})}{\text{peso de muestra}} \right] * 100$$

Tabla 14. Resultados porcentajes de lignina

Muestra	% Lignina
1	20.4192
2	20.4374
3	19.9682
Promedio	20.2749

Si restamos el porcentaje de FDN y FDA obtenemos el porcentaje de hemicelulosa como se observa en la **Ecuación 7** y así mismo si restamos el porcentaje de FDA y de lignina del ácido detergente obtenemos la cantidad de celulosa de la muestra como se observa en la **Ecuación 8**.⁵⁴ En la **Tabla 15** se presentan los resultados bromatológicos de la cascarilla de arroz.

Ecuación 7. Porcentaje de hemicelulosa

$$\% \text{hemicelulosa} = \% \text{FDN} - \% \text{FDA}$$

⁵³ ICA. Determinación del contenido de fibra detergente acida en materias primas de origen vegetal y alimentos balanceados para animales [En línea]. <<https://portal.ica.gov.co/DocManagerSwift/User/HTMLServe.ashx?E=1ED1394A40635E56760AAE6A44B82126&PE=09C57DA5BE145FF5637DEA2CFC93475C&S=40&P=False&R=2067125528>> [citado 15 de agosto 2016]

⁵⁴ MORA BRAUTIGÁN, Ileana. Nutrición animal. Costa rica: EUNED, 2007. 120 p; ISBN : 9977-64-557-4

Ecuación 8. Porcentaje de celulosa

$$\% \text{celulosa} = \% \text{FDA} - \% \text{Lignina}$$

Tabla 15. Resultados bromatológicos de la cascarilla de arroz.

% FDN	%FDA	%Lignina	%Hemicelulosa	%Celulosa
70.74	64.39	20.2749	6.35	44.1151

José Guimarães, Gomes de Oliveira, da Silva, de Carvalho, Coutinho, de Oliveira, Moura, Marchão, de Morais, reportan valores para %FDN y %FDA para la cascarilla de arroz de 73.66 % y 49.99 %⁵⁵, para Vargas, J, Alvarado P y Porras M, toman rangos para el porcentaje de FDN, FDA, lignina, hemicelulosa y celulosa de 66-74%, 58-62%, 9-20%, 12%, 28-36%⁵⁶. Gloria María Doria Herrera, Angelina Hormaza y Darío Gallego Suarez, indican resultados bromatológicos de las características estudiadas de 77.97%, 66.78%, 6.66%, 60,12%, 11.19%, respectivamente.⁵⁷ Estos valores dependen de las condiciones climáticas y geográficas, también de las características de los suelos, en donde se cultiva el arroz, la variedad de arroz y de los fertilizantes utilizados en los arrozales⁵⁸.

A continuación se presentan la **Tabla 16** y en el **ANEXO F** el resumen de propiedades recopiladas durante cada uno de los procedimientos que se definieron en este capítulo.

Mediante la experimentación se lograron caracterizar cada una de las materias primas que se usaron en la presente investigación, se logró la identificación de los tipos de plásticos reciclados utilizados en la empresa para la elaboración del poste además de las condiciones en las que se encontraban los plásticos debido a que como son reciclados no se encuentran en su estado puro.

En cuanto a la cascarilla de arroz se determinaron las condiciones en las que se encontraba con el fin de caracterizar sus principales propiedades físicas y

⁵⁵ ELIVALTO, José. Forragem de milho hidropónico produzida com diferentes substratos. En: Revista brasileira de zootecnia. No.2 (2007); p.276-281,ISSN 1516-3598

⁵⁶ Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., Porras M. Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. En: revista científica.No.1 (2003); 102 p.

⁵⁷ DORIA HERRERA, Gloria María, Caracterización estructural de la cascarilla de arroz modificada como adsorbente alternativo y eficiente para la remoción de Cr (VI) en solución. En: revista de investigación Agraria y Ambiental. No.1 (enero-junio,2013); p.ISSN 2145-6097

⁵⁸ ALEMÁN, Arnulfo Leonardo Evaluación de la esterificación sobre cascarilla de arroz como estrategia para incrementar la capacidad de remoción del colorante rojo básico 46. Medellín Colombia, 2012,92h.Trabajo de grado (Magister en Ciencias-Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias-Escuela de Químicas.

químicas y comprender cuales de ellas pueden afectar en el producto final elaborado en la investigación.

Tabla 16. Propiedades cascarilla de arroz

Propiedad	Valor
Densidad(g/ml)	1,0835
%Humedad	10,15
%Cenizas	16,67
%FDN	70,74
%FDA	64,39
%Hemicelulosa	20,27
%Lignina	6,35
%Celulosa	44,11

3. DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE TRABAJO

Se evaluaron las diferentes variables que influyen en el proceso de extrusión las cuales fueron: tiempo, velocidad, temperatura, composición, tamaño de partícula y el lugar de dosificación de la fibra vegetal. Se realizaron estudios preliminares para determinar cuáles de estas tenían mayor nivel de impacto en el producto.

El tamaño de partícula se descartó debido a que al mezclar la fibra vegetal con los dos tipos de plástico se evidenció una homogeneidad entre las materias primas, siendo innecesario disminuir el tamaño de partícula y así tener que recurrir a un gasto extra al no disponer de un molino.

Se realizó una pre experimentación para determinar la importancia del lugar de dosificación de la fibra vegetal, esta consistió en adicionar la cascarilla de arroz en la tolva de alimentación y a 1,20 metros de ella, observando si la fibra vegetal se quemaba formando un carbón que a largo plazo puede afectar el funcionamiento de la maquina extrusora, como la fibra vegetal no presento alteración se decidió dejar la tolva como lugar de dosificación y no recurrir a un costo extra además así poder realizar la mezcla de las tres materias primas desde el inicio para generar una homogeneidad al final del producto.

A partir de los estudios preliminares se pudo inferir que las variables que afectan en la calidad y el proceso del producto son el tiempo, velocidad, temperatura y composición. El tiempo es una variable que depende de la velocidad puesto que si aumenta la velocidad este será menor, en cambio si disminuye la velocidad será mayor.

La máquina extrusora posee un tablero con cinco controles de temperatura, al variar el último control se estabilizaran los otros rangos. La temperatura es una variable independiente que perjudica el producto en cuanto a homogeneidad de la mezcla debido a la fluidez de los plásticos y a la estética del poste, si la temperatura es mayor a 300 °C el poste saldrá quemado.

Por último la composición es la variable independiente más importante a estudiar debido a la cantidad que se debe usar de cascarilla de arroz, este es un material reforzante que al usarlo en gran proporción puede afectar las propiedades mecánicas del material final y generar mayor cantidad de humo en el proceso de extrusión, por lo tanto según los estudios reportados en la bibliografía la composición adecuada a usar de cascarilla de arroz será de máximo 30 %⁵⁹

⁵⁹ SILVA, Alejandro. Estudio del comportamiento mecánico de compuestos de mezcla polimérica con adición de cáscara de arroz y compatibilizaste. Universidad Nacional de San Agustín. Escuela de posgrado. Arequipa- Perú. 2010

3.1 METODOLOGÍA

El proceso se desarrolló mediante una extrusora tipo husillo, de construcción nacional que se encuentra en la empresa Ecomaderas Plásticas. La máquina a través del husillo de extrusión permite el transporte, fundición y homogenización⁶⁰ del material que finalmente termina en un molde para que obtenga la forma adecuada.

Se realizó el planteamiento de un diseño factorial aleatorizado ya que este método comprende el análisis de diversos factores con una infinidad de niveles, además la estipulación del material, así mismo el orden se realiza de manera individual y mediante ensayos aleatorios, esto con el fin de cancelar diferentes efectos extraños que se pueden presentar en la investigación.⁶¹

Los factores de estudio son la temperatura final de trabajo de la extrusora, la velocidad para la producción de un poste y la variación en la composición de cascarilla de arroz, polietileno y polipropileno, para un total de 24 muestras incluyendo el duplicado. Las primeras 12 muestras se desarrollaron a una velocidad de 35 rpm con dos valores en la temperatura de 280°C y 290 °C, con tres composiciones diferentes de cascarilla de arroz (10 %, 20 %, 30 %), las otras 12 muestras se desarrollaron a unas condiciones de 45 rpm para las variables descritas anteriormente.

A las 24 muestras se les realizó pruebas de resistencia a la compresión y se escogieron las tres mejores muestras para realizarles pruebas de resistencia a la tracción, densidad del material y resistencia a agentes químicos con el fin de evaluar las características del producto elaborado en esta investigación y el fabricado por Ecomaderas Plásticas

3.1.1 Prueba de resistencia a la compresión. Las probetas se fallaron en la maquina universal de ensayos marca United modelo STM-100KN de acuerdo a la norma ASTM D 695- 02a Standard Test method for Compressive Properties of rigid plastics. La resistencia a la compresión se expresa como el esfuerzo o fuerza a la cual se somete la probeta por área de la sección trabajada. Se da en kg-f/cm² o en psi⁶².

⁶⁰ CÓRDOBA, Carlos, et al. Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado, reforzado con fibra vegetal, tetera (stromanthe stromathoides). En: Revista iberoamericana de polímeros.2010. p. 417-427

⁶¹ MONTGOMERY. Diseño y Análisis de experimentos. Segunda edición. Limusa S.A. México. 2004 681 p. ISBN 968-16-6156-6

⁶² GONZALEZ, Lina y GONZALEZ, Claudia. Proyecto de Grado Aprovechamiento y reutilización de ABS POST- CONSUMO en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2010. p 43

Las pruebas de compresión proporcionan un método estándar de obtención de datos para la investigación y desarrollo, control de calidad, de aceptación o de rechazo.

Las probetas de estudio se realizaron en forma de cilindro con unas dimensiones adoptadas de 12,7 mm de diámetro por 50,8 mm de altura y se someten entre 700 MPa a 3500 MPa (100 000 psi a 500.000 psi) según la norma mencionada anteriormente⁶³

3.1.2 Prueba de resistencia a la tracción. William D. Callister, Jr.⁶⁴ Expone que la resistencia a la tracción medida en MPa o psi es la tensión en el máximo del diagrama tensión-deformación nominales. Esta corresponde a la máxima tensión que puede ser soportada por una estructura a la tracción; si la tensión es aplicada y mantenida, se producirá una rotura.

Esta prueba fue realizada bajo la norma ASTM D-638 Standard Test Method For Tensile Properties of Plastics. Este método determina las propiedades de tracción de los plásticos reforzados y no reforzados. Las probetas mecánicas se elaboraron según las dimensiones de la muestra tipo I descritas en la norma como se indica en la **Imagen 21** e **Imagen 22**, debido a que estas se ajustan en totalidad por sus características.

Imagen 21. Dimensiones de probeta mecánica

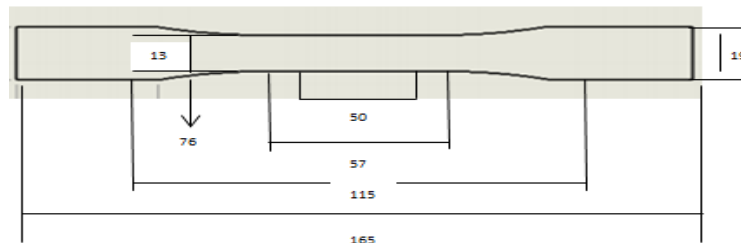


Imagen 22. Probetas mecánicas



La velocidad seleccionada fue de 50 mm/min, por medio de las especificaciones de dadas en la norma, como se indica en la **Tabla 17**.

⁶³ ASTM D 695- 02a Standard Test method fo

⁶⁴ D. CALLISTER, Jr. William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales. Tercera edición. Barcelona: editorial reverté, s.a, ISBN:978-84-291-7253-9.

Tabla 17. Velocidades de ensayo

Clasificación	Tipo de espécimen	Velocidad de la muestra mm/min(in/min)	Tensión nominal, velocidad al inicio de la prueba mm/min (in/min)
Rígido y semirrígido	I, II, III, varillas y tubos	5 (0.2) \pm 25%	0.1
		50 (2) \pm 10%	1
		500 (20) \pm 10%	10

Se midió el ancho y el espesor en varios puntos a lo largo de las secciones estrechas de las probetas mecánicas por medio de un micrómetro, las pruebas mecánicas se realizaron en una maquina universal marca United modelo STM-100KN⁶⁵

3.1.3 Determinación de la densidad. Se determinó la densidad del material bajo la NTC 907 plásticos. Determinación del peso específico (densidad relativa) y de la densidad. Método de desplazamiento⁶⁶. Se desarrolló mediante el método de ensayo A donde solo se realiza con plásticos sólidos en agua; inicialmente se pesó una probeta de plástico sólido en el aire, luego se sumergió en el agua y se determinó su masa aparente en la inmersión, calculando así su peso específico (densidad relativa) mediante la **Ecuación 9**.

Ecuación 9. Densidad relativa

$$p.e = a/(a + w - b)$$

Dónde:

a= masa aparente de la probeta, sin alambre o lastre, en el aire

b= masa aparente de la probeta (y de lastre, si se utiliza) completamente sumergido y del alambre parcialmente sumergido

w= masa aparente del lastre totalmente sumergido y del alambre parcialmente sumergido.

⁶⁵ ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. United States. 13 h: il.(ASTM D-638)

⁶⁶ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Plásticos. Determinación del peso específico (densidad relativa) y de la densidad. Método de desplazamiento NTC 907

Al calcular la densidad relativa se pudo calcular la densidad del plástico por medio de la **Ecuación 10**

Ecuación 10. Densidad

$$D = p. e * 997,6$$

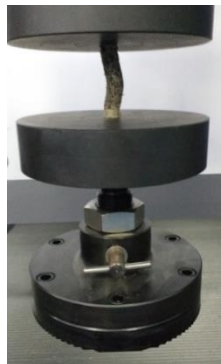
3.1.4 Resistencia a agentes químicos La prueba se desarrolló bajo la NTC 1027 Determinación de los efectos de productos químicos líquidos, incluyendo el agua en los materiales plásticos. Es un ensayo de inmersión total en el agente químico de la probeta plástica⁶⁷. Se preparó una solución de hidróxido de sodio con concentración de 10 % m/m y una solución de ácido sulfúrico a 98% de concentración determinando así la resistencia del material al contacto de agentes químicos. En el **ANEXO G** se muestra el procedimiento.

3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los respectivos resultados de las pruebas mencionadas con anterioridad, determinando las mejores condiciones para la obtención de un poste plástico.

3.2.1 Resistencia a la compresión. En el **ANEXO I** se representan los resultados del ensayo de compresión. La fuerza de compresión ejercida en cada una de las probetas ensayadas generó un fenómeno de pandeo debido al arqueamiento lateral a la carga sometida, presentando así una forma de barril y un aumento en la deformación como se muestra en la **Imagen 23**

Imagen 23. Efecto pandeo



En la **Tabla 18** se muestran los datos obtenidos del comportamiento del esfuerzo a partir de la variación de composición de cascarilla de arroz generando la **Gráfica**

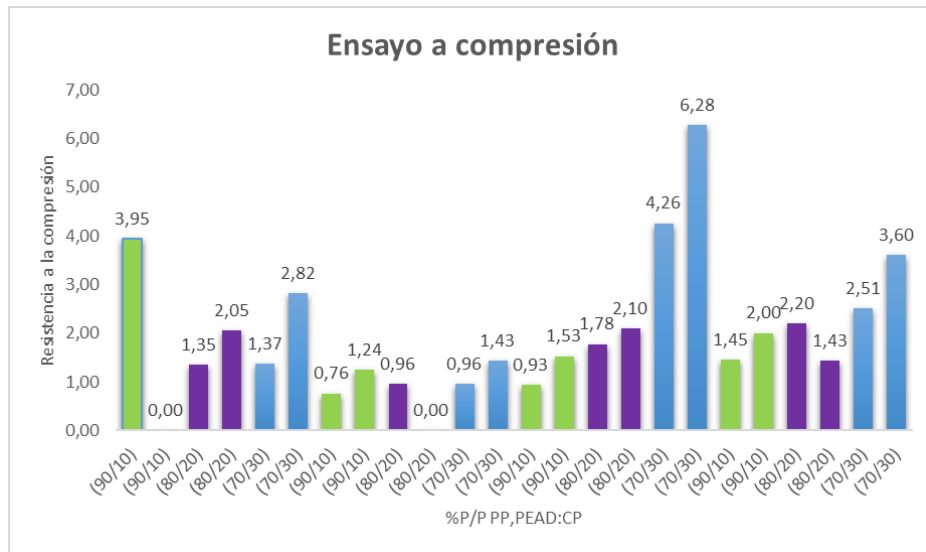
⁶⁷ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Determinación de los efectos de productos químicos líquidos, incluyendo el agua en los materiales plásticos. NTC 1027

1 se evidenció que a mayor proporción de cascarilla de arroz aumenta la resistencia a la compresión. Las muestras con 30 % de cascarilla de arroz presentaron los valores más altos de esfuerzo de compresión y las muestras de 10 % de cascarilla generaron los valores más bajos

Tabla 18. Comportamiento de resistencia a la compresión en diferentes composiciones de cascarilla de arroz.

Porcentajes de plástico/cascarilla	Resistencia a la compresión MPa
(90/10)	3,95
(90/10)	0,00
(80/20)	1,35
(80/20)	2,05
(70/30)	1,37
(70/30)	2,82
(90/10)	0,76
(90/10)	1,24
(80/20)	0,96
(80/20)	0,00
(70/30)	0,96
(70/30)	1,43
(90/10)	0,93
(90/10)	1,53
(80/20)	1,78
(80/20)	2,10
(70/30)	4,26
(70/30)	6,28
(90/10)	1,45
(90/10)	2,00
(80/20)	2,20
(80/20)	1,43
(70/30)	2,51
(70/30)	3,60

Gráfica 1. Ensayo a compresión

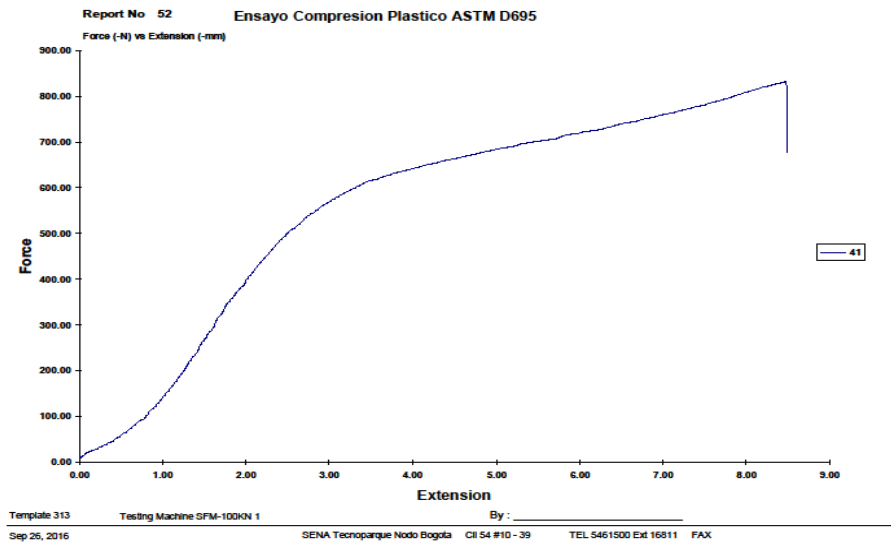


Las probetas soportaron diferentes fuerzas por consecuencia a las características obtenidas como la porosidad, en el momento de su fabricación a las condiciones de operación dadas, se evaluaron los resultados presentados en el **ANEXO I** y se seleccionaron las tres muestras con los mayores valores de esfuerzo de compresión siendo los materiales más rígidos entre las 24 muestras, además estas tres muestras (9, 10, 11) fueron escogidas según el aspecto físico que mostraron al ser preparadas mediante el proceso de extrusión.

A continuación se presentan las gráficas de las tres muestras seleccionadas del comportamiento de la fuerza ejercida vs la deformación que alcanza antes de romperse.

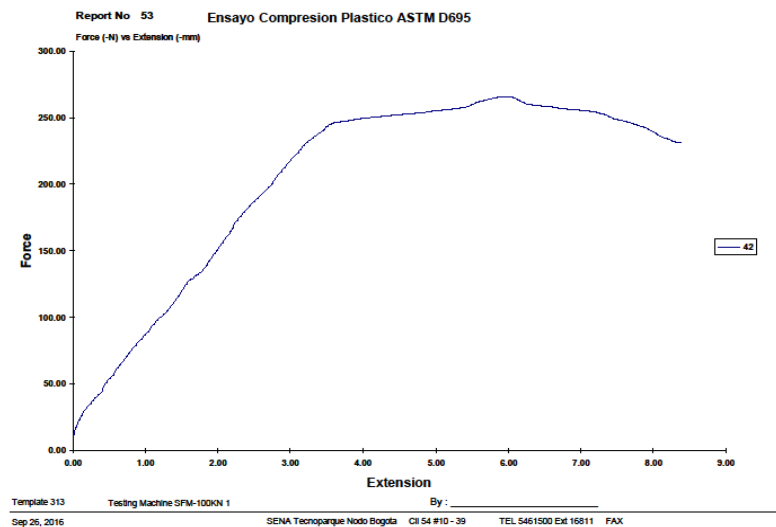
En la **Gráfica 2** se evidenció un máximo esfuerzo de la muestra 9 el cual fue de 833,036 N siendo un valor elevado demostrando así la rigidez del material que además tuvo una deformación de 8,2 mm antes de alcanzar el rompimiento. Como se observa en la curva esta presentó un tipo de comportamiento blando y tenaz; es decir que al ser tenaz es un material que no se rompe con facilidad y al ser blando se puede moldear fácilmente y generar cambios en su forma. En la **Gráfica 2** se presenta la zona elástica que está en un rango de 0mm a 3mm de extensión siendo la zona reversible ya que presentará una deformación temporal del material y una zona plástica de 3 mm a 8,2 mm de extensión que presentará una deformación fija donde el material no volverá a tener las mismas medidas originales.

Gráfica 2. Muestra 9. Curva de esfuerzo vs deformación



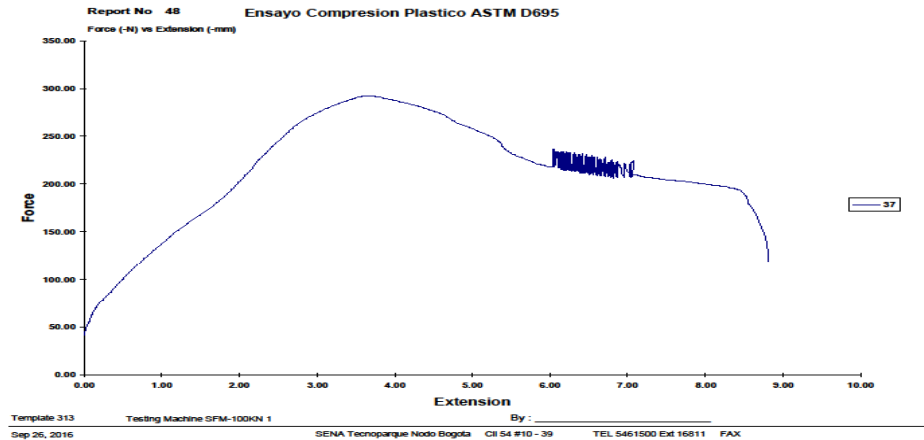
La **Gráfica 3** presenta un comportamiento en forma de meseta, un máximo esfuerzo de 265,973N en la muestra 10, esta tiene una zona elástica de un rango de 0mm a 3,5mm de extensión y de deformación temporal, presentando una fuerza en esta zona de 250 N y una zona plástica de 3,5mm a 6 mm de extensión en que la deformación será fija hasta la zona de estricción de 6mm hasta 8mm de extensión que será antes de la ruptura del material.

Gráfica 3. Muestra 9 Curva de esfuerzo vs deformación



La **Gráfica 4** presentó una fuerza de 292, 075 N en la muestra 11, su zona elástica se encuentra en un rango de 0mm a 2,5mm, su zona plástica de 2,5 mm a 5mm y por último su zona de estricción en un rango de 5mm a 8mm sin llegar al rompimiento del material pero con una deformación irreversible que impide que regrese a su forma inicial. En la **Gráfica 4** se observa una distorsión entre los puntos 6mm a 7mm debido a que la probeta se fracturó en un costado generando una nueva área y así mismo ejerciendo una nueva fuerza al material.

Gráfica 4. Muestra 11 Curva de esfuerzo vs deformación



Los resultados de resistencia a la compresión se presentan de manera independiente en las gráficas, las curvas de esfuerzo vs deformación enseñaron al inicio un tramo recto y una zona definida en forma de meseta siendo el máximo esfuerzo que soportaron. La deformación a compresión se incrementa a medida que el esfuerzo sea mayor; la rigidez de las probetas disminuyo levemente; además el esfuerzo máximo a compresión presentó un aumento con la altura y área, debido a que se presentaron mayores valores con áreas más grandes. Todos los ensayos se llevaron hasta una extensión máxima de 8mm y la resistencia a la compresión de estas tres muestras se encontró en un rango de 1,43-6,28 MPa.

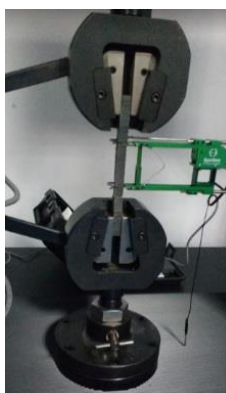
La mayor resistencia generada se presenta en la muestra 9, con un valor de 6,28MPa debido a su cohesión y mejor ordenamiento en la estructura cristalina, la menor resistencia a la compresión fue la muestra 11 con un valor de 1,43 MPa. En la **Tabla 19** se presenta los resultados del respectivo ensayo.

Tabla 19. Resultados resistencia a la compresión muestras escogidas

Muestra	Fuerza N	Area mm²	Esfuerzo de compresión σ MPa
9	833,036	132,732	6,2760751
10	265,873	132,732	2,0030814
11	292,075	132,732	2,20048669

3.3.2 Resistencia a la tracción. En el **ANEXO J** y en la **Imagen 24** se evidencian los resultados obtenidos en el ensayo de tracción, encontrando así el rendimiento, la resistencia a la fluencia, tensión, módulo de elasticidad, alargamiento a la rotura, alargamiento de rendimiento, alargamiento a la tracción y la resistencia a la tracción, las cuales fueron claves para identificar el efecto de la adición de cascarilla de arroz en la matriz polimérica

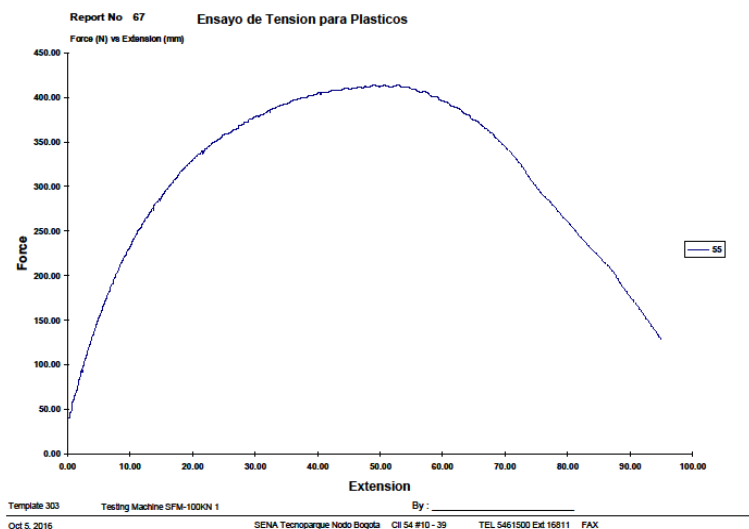
Imagen 24. Ensayo tracción



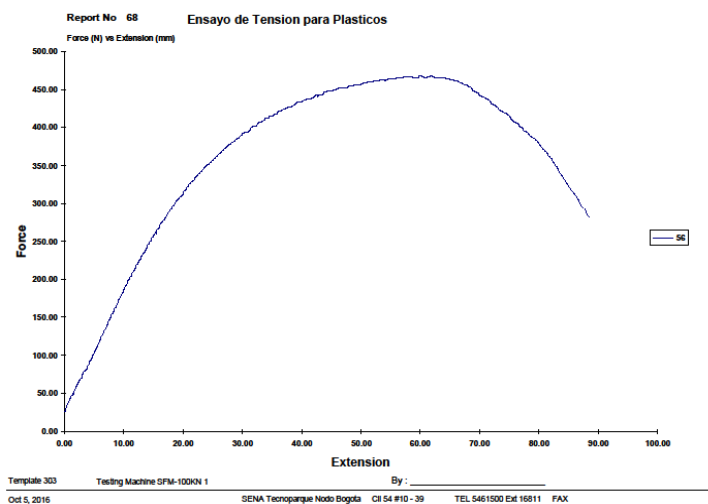
A continuación se presentan las gráficas las curvas de esfuerzo vs deformación.

En la **Gráfica 5** se obtiene una resistencia a la fluencia de 3.49 MPa, una tensión de 414.09 N, un módulo de elasticidad de 16 MPa, un alargamiento a la ruptura 94.930 mm, un alargamiento a la tracción de 50.78 mm y una resistencia a la tracción de 3.54 MPa.

Gráfica 5 . Muestra 9 Curva de esfuerzo vs deformación

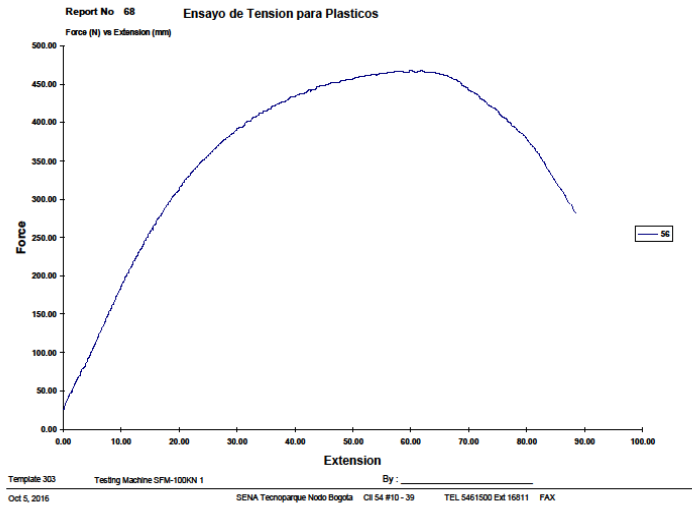


Gráfica 6. Muestra 9.1 Curva de esfuerzo vs deformación



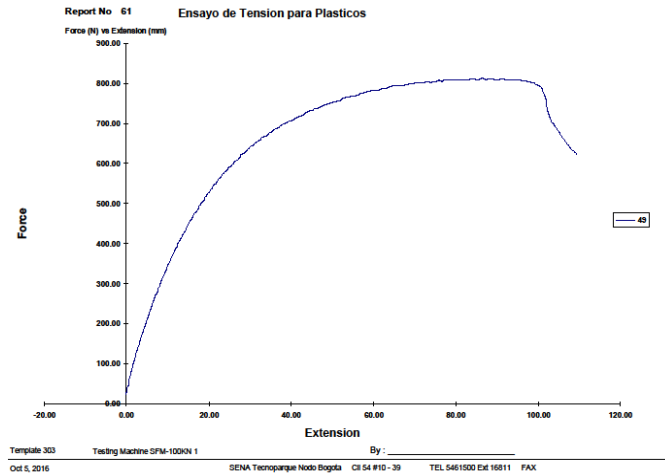
En la **Gráfica 6** se alcanzo una resistencia a la fluencia de 3.72 MPa, una tensión de 468.03 N, un módulo de elasticidad de 15.6 MPa, una resistencia a la tracción de 3.74 MPa, un alargamiento a la rotura y a la tracción de 88.590 mm y 59.86 mm respectivamente.

Gráfica 7. Muestra 9.2 Curva de esfuerzo vs deformación

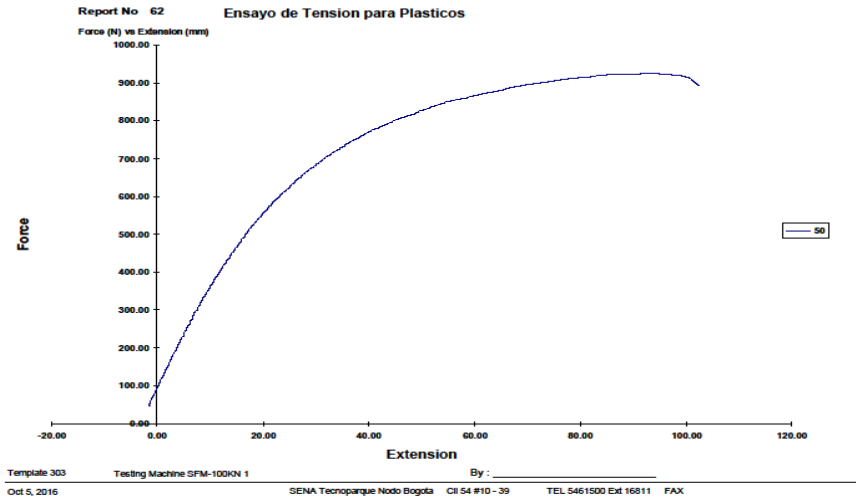


La **Gráfica 7** muestra una resistencia a la fluencia de 3.27 MPa, una tensión de 436.81 N, un módulo de elasticidad de 16 MPa, una resistencia a la tracción de 3.48 MPa, un alargamiento a la rotura y a la tracción de 42.050 mm y 43.1 mm respectivamente.

Gráfica 8. Muestra 10 Curva de esfuerzo vs deformación

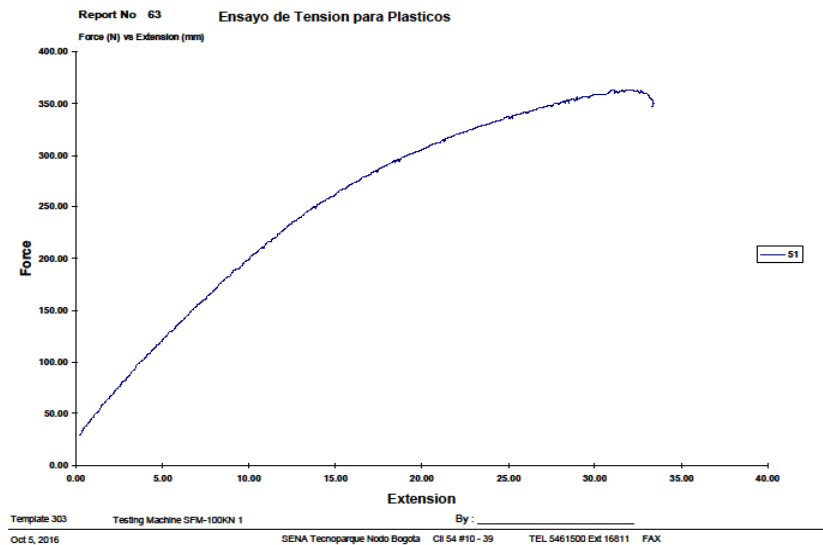


Gráfica 9. Muestra 10.1 Curva de esfuerzo vs deformación

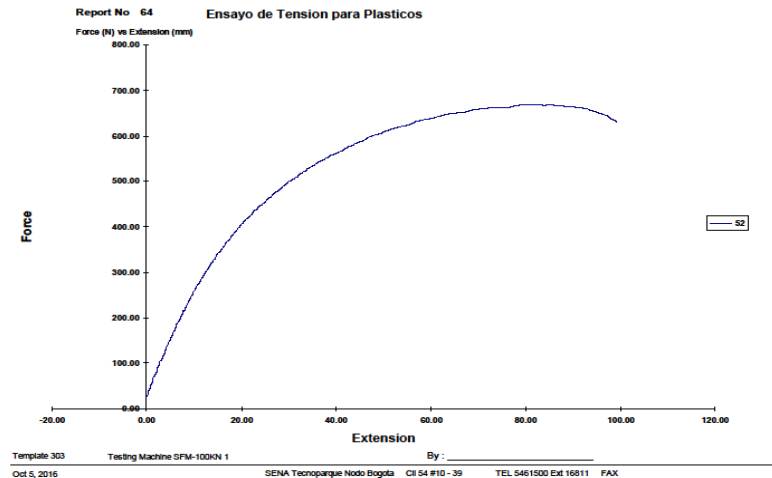


En la **Gráfica 8** y la **Gráfica 9** se evidencia en la zona elástica un módulo de elasticidad de 27 y 18 MPa, también se reflejó una resistencia a la fluencia de 7.15 - 6.25 MPa y un tensión de 813.74 - 926.85. Se generó un alargamiento a la tracción y a la rotura de 86.53-93.00 mm y 109.39-102.42 mm respectivamente.

Gráfica 10. Muestra 11 Curva de esfuerzo vs deformación



Gráfica 11. Muestra 11.1 Curva de esfuerzo vs deformación



En la **Gráfica 10** y la **Gráfica 11** se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la fluencia los cuales fueron de 2.68 y 4.94 MPa. Se originó un alargamiento a la tracción y a la rotura de 32.03-83.61 mm y 33.304 y 99.160 mm. Para la zona plástica se obtuvo un módulo de elasticidad de 14.6 y 16.6 MPa y una tensión de 363.22 N y 668.97 N.

Las gráficas expuestas con anterioridad presentan el mismo comportamiento de dureza, la cual es la resistencia que tiene un material a ciertas deformaciones plásticas que se dan por rayado, abrasión o corte de la superficie y también de fragilidad, que es la capacidad del material a romperse sufriendo poca deformación plástica,⁶⁸ como se muestra en la **Imagen 25**. En este ensayo se presentó un rango de tensión en las probetas de 414.09-926.85 N generando un rango de resistencia a la tracción de 7.28-2.7 MPa.

La muestra 10 exhibió la mayor resistencia a la tracción, debido a su bajo porcentaje de cascarilla de arroz (10 %). Silva⁶⁹ afirma que a mayor proporción de cascarilla de arroz reduce las propiedades de tracción, como se presenta en la **Tabla 20** y la **Gráfica 12**. Además esta muestra obtuvo la mayor resistencia a la fluencia lo que indica que al material se le debe ejercer una mayor fuerza para ser

⁶⁸ DONALD G. Fink, WAYNE Beaty. Manual práctico de electricidad para ingenieros. Barcelona. Editorial Reverté 1981 p.177. ISBN 84-291-3033-0

⁶⁹ Mg. SILVA VELA, Alejandro Oscar. Estudio del comportamiento mecánico de compuestos de mezcla polimérica con adición de cascarilla de arroz y compatibilizante. Tesis de Doctorado Doctor mecánico. Arequipa-Perú. Universidad Nacional De San Agustín, Escuela de Posgrado. Facultad de Ciencias Naturales y Formales.

alargado en forma plástica y permanente,⁷⁰ así mismo se refleja en el alargamiento de rotura, presentando una mayor diferencia entre la longitud inicial hasta la longitud alcanzada al momento de romperse.

Imagen 25. Comportamiento de curvas de esfuerzo y deformación



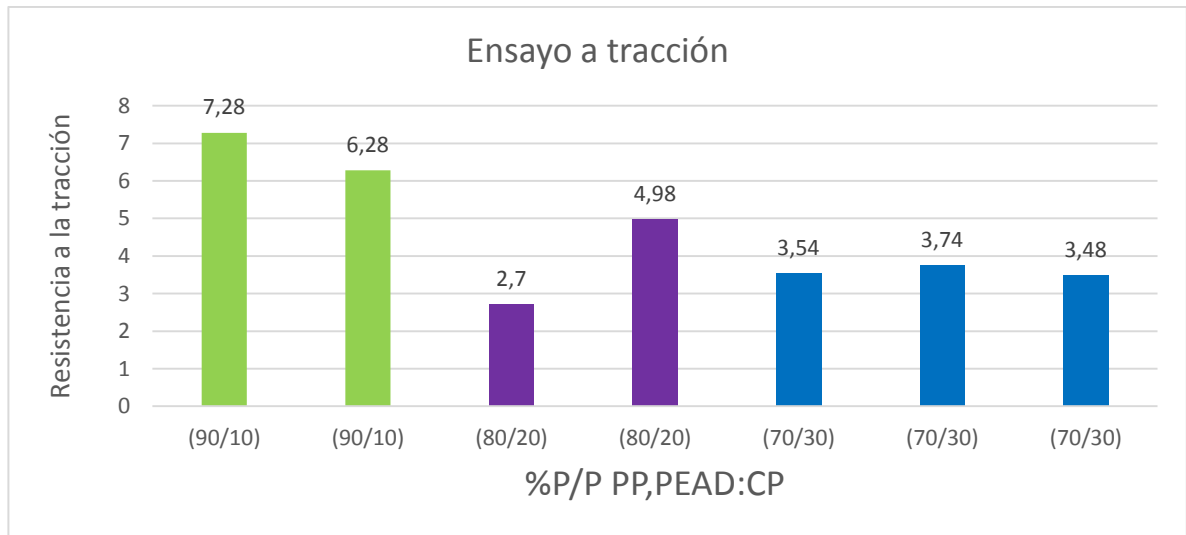
Fuente: BILLMEYER, Fred. *Ciencia de los polímeros*. Reverte, 1975 ISBN 8429170480, 9788429170481. p 130.

Tabla 20. Comportamiento de resistencia a la tracción en diferentes composiciones de cascarilla de arroz.

Porcentajes de plástico/ cascarilla	Resistencia a la tracción
(90/10)	7,28
(90/10)	6,28
(80/20)	2,7
(80/20)	4,98
(70/30)	3,54
(70/30)	3,74
(70/30)	3,48

⁷⁰ MOTT, Robert. *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson Education 2006. ISBN 9702608120. P 34

Gráfica 12. Ensayo a tracción



3.2.3 Densidad. En la **Tabla 21** se indican los resultados de las muestras 9,10 y 11, evidenciando la disminución de la densidad en cada muestra para las respectivas proporciones de mezcla entre el PP, PEAD y CA.

La densidad de la mezcla entre PP y PEAD fue de 2.066 g/cm³ la cual es usada actualmente por la empresa Ecomaderas Plásticas. Se puede inferir que al agregar cascarilla de arroz a la mezcla de plásticos reciclado tuvo un efecto reduciendo la densidad. Según Córdoba⁷¹ al obtener una disminución en la densidad, el material puede ser utilizado cuando se requiera un poste liviano y con facilidad de deformación y maleabilidad.

Tabla 21. Resultados Densidad relativa

Muestras	Masa probeta seca (g)	Muestra probeta, lastre y cable	Masa del peso extra	P.e	Densidad kg/m ³	Densidad g/cm ³
9 (70/30)	1,7	4,8	1,5	1,0625	1059,95	1,05995
10 (80/20)	1,4	5	1,5	0,666666667	665,0666667	0,665066667
11 (90/10)	1,4	5,4	1,5	0,56	558,656	0,558656

⁷¹ CÓRDOBA, Carlos, et al. Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado, reforzado con fibra vegetal, tetera (stromanthe stromathoides). En: Revista iberoamericana de polímeros.2010. p. 417-427

3.2.4 Resistencia a agentes químicos. El ensayo de resistencia se evaluó tomando ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, los cuales son ácidos y bases fuertes. Se estudiaron los cambios aparentes de textura, color y presencia de hinchamiento mediante 24 horas. El comportamiento se presenta a continuación en el **Cuadro 9**.

Cuadro 9. Comportamientos de muestras en agentes químicos

Muestra	Hidróxido de sodio 10%	Ácido sulfúrico 98%
9	Disgregación mínima No hay cambio de color	Si hay cambio de color No disgrega el material
10	Disgregación mínima No hay cambio de color	Si hay cambio de color No disgrega el material
11	Disgregación mínima No hay cambio de color	Si hay cambio de color No disgrega el material

En cuanto a las propiedades individuales de los materiales se presentan cambios aparentes debido a que el polietileno de alta densidad y el polipropileno muestran una baja resistencia a ácido sulfúrico y presentan una buena resistencia al hidróxido de sodio, en cambio la cascarilla de arroz presenta baja resistencia a soluciones alcalinas, disminuyendo el porcentaje de silicio y de lignina, el tratamiento con hidróxido de sodio remueve gran cantidad de componentes leñosos siendo agresivo para la fibra vegetal.⁷²

Aunque ambos materiales plásticos presentan falencia al estar en contacto con ácido sulfúrico esta no afecta de una manera considerable las propiedades del material compuesto, en cambio la baja resistencia de la cascarilla de arroz en soluciones alcalinas generará una leve descomposición en el poste.

3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos se resolvió mediante el programa estadístico SPSS, generando los resultados de análisis de varianza como se evidencia en la **Tabla 22**. La interacción entre la velocidad-temperatura, velocidad-composición y temperatura-composición presentaron valores de significancia de 0.309, 0.003 y 0.303 respectivamente, al ser mayores $\alpha=0.05$ las interacciones de velocidad-

⁷² ROSALBA, Fuentes. Comportamiento mecánico del poliuretano reforzado con fibras de yute y fibras de cascarilla de arroz. Universidad de Guanajuato, México C.P. 36050

temperatura y temperatura- composición no se rechazan y la de velocidad composición al ser menor si se rechaza.

La interacción entre velocidad-temperatura-composición tienen un valor de significancia igual a 0.054, siendo mayor a $\alpha=0.05$, por ende se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas

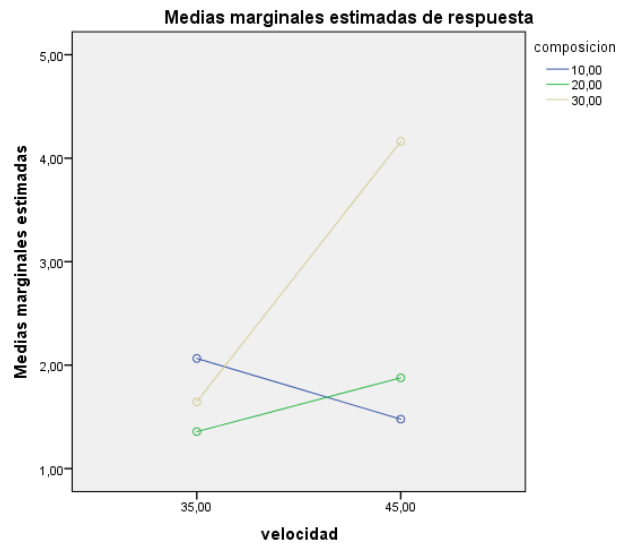
Tabla 22. Análisis de varianza

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	32,785 ^a	11	2,980	5,782	,003
Intersección	105,588	1	105,588	204,830	,000
Velocidad	4,002	1	4,002	7,763	,016
Temperatura	5,152	1	5,152	9,995	,008
Composición	7,895	2	3,948	7,658	,007
velocidad * temperatura	,583	1	,583	1,131	,309
velocidad * composición	9,905	2	4,953	9,607	,003
temperatura * composición	1,364	2	,682	1,323	,303
velocidad * temperatura * composición	3,884	2	1,942	3,767	,054
Error	6,186	12	,515		
Total	144,559	24			
Total corregido	38,971	23			

Como se evidenció anteriormente al no ser rechazadas las interacciones velocidad-temperatura, y temperatura-composición, demuestra que se debe rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas, es decir que no existen diferencias significativas entre los grupos, usando cualquiera de los dos niveles establecidos en la investigación en el momento de desarrollar el producto mediante el proceso de extrusión. En el caso de la interacción de velocidad- composición al tener un menor $\alpha=0.05$ esta interacción se rechaza, es decir que si existen diferencias significativas entre los grupos.

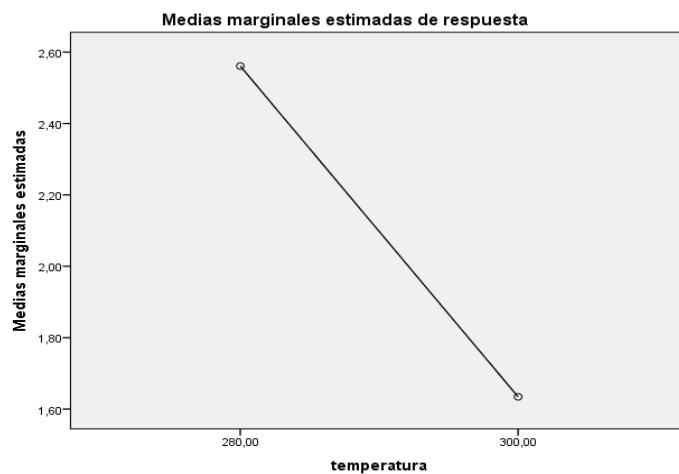
En la **Gráfica 13**, se presenta la interacción velocidad y composición, indicando que el mejor tratamiento es de 30 % de cascarilla de arroz y la velocidad de 45 rpm.

Gráfica 13. Interacción velocidad y composición



En la **Gráfica 14** se puede observar que los rangos de temperatura escogidos no tienen significancia en este estudio, de esta manera se puede utilizar cualquiera de las dos temperaturas. En esta investigación se decidió usar la temperatura menor para tener un menor consumo de energía.

Gráfica 14. Interacción temperatura



Un aspecto importante en esta investigación es el control de la temperatura en la extrusora; al realizar el cambio de esta variable en la zona final, el tablero ajusta los otros rangos de temperatura para estabilizar la máquina y realizar las funciones del husillo; en la primera zona llamada zona de alimentación la profundidad del husillo es la máxima, aquí se compacta el material a una temperatura de 320°C y es transportado a la segunda zona conocida como compresión o transición, esta es la zona más importante del husillo ya que se presenta el proceso de fusión del material, la profundidad del cilindro se reduce de forma gradual mientras que el material se compacta, esta zona cuenta con tres temperaturas 315°C, 290°C y 297°C respectivamente, ocurriendo el proceso de fusión en las materias primas; por último se lleva a la zona de dosificación siendo la parte más cercana a la boquilla, el material fundido se homogeniza a una temperatura de 280°C (variable estudiada) y se presuriza para que el material salga de la boquilla y se dirija al molde.

Al ser modificada la temperatura tendrá un efecto en la viscosidad (resistencia al fundido) del polímero, a mayor temperatura la viscosidad será menor y por lo tanto el polímero tendrá menor resistencia al fundido creando dificultades para mantener un material libre de defectos superficiales, algunos de estos defectos superficiales se conocen como tallo de bambú debido a la forma física similar que toma el material con este. En cambio al usar una menor temperatura la potencia por parte del motor será mayor y el material será más viscoso, requiriendo así mayor potencia en el proceso de extrusión.⁷³

La composición de cascarilla de arroz es muy importante tanto para las propiedades del material reforzado como para el funcionamiento de la extrusora, una gran cantidad de este material puede afectar el husillo debido a la abrasión que se puede generar, por lo tanto no se puede reemplazar un mayor porcentaje de plástico con la fibra vegetal.

3.4 FORMULACIÓN DE MEZCLA DE MATERIAL

A partir de los resultados obtenidos anteriormente se pudo inferir que la mejor proporción a implementar fue de 30% de cascarilla de arroz a condiciones de 45rpm y temperatura de 280°C en el proceso de extrusión; evidenciando un aumento en la resistencia a la compresión debido a que se logró una disminución en la porosidad del material a mayor porcentaje de cascarilla de arroz, presentando una reducción de esta propiedad en comparación al material de Ecomaderas plásticas y de las otras probetas. Además se pudo inferir que la adición de cascarilla de arroz no ocasionó un aumento en las propiedades de resistencia a la tracción como se muestra en el **ANEXO K**.

⁷³Tecnología de los Plásticos. Extrusión de materiales plásticos II [en línea] < <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/05/extrusion-de-materiales-plasticos-ii.htm> > [citado: 27 de octubre de 2016].

4. ESTUDIO DE COSTOS DEL PROYECTO

Este estudio se realizó basado en la implementación de una nueva materia prima con el fin de reducir la utilización de materiales reciclados los cuales son polietileno de alta densidad y polipropileno, en la fabricación de postes plásticos para el sector agropecuario elaborando una comparación con y sin la aplicación del proyecto.

El estudio de costos se desarrolló a partir del valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno operacional (TIR), en un tiempo de cinco años y manejando una unidad monetaria de valor corriente en peso colombiano COL (\$). Tomando la tasa representativa del mercado (TRM) de 2917,95 COL\$/USD, del día lunes 26 de septiembre de 2016.⁷⁴

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto fue indispensable el uso de una máquina de extrusión, adquirida por 44.la empresa en el año 2015 siendo innecesaria una inversión en cuanto a maquinaria; la inversión del proyecto se centró en aprovechar la cascarilla de arroz como una nueva materia prima además del tiempo de investigación y de mano de obra. En la **Tabla 23** se presenta la comparación de inversión con y sin proyecto.

Tabla 23. Inversión a la producción de postes

Inversión Asignada sólo a la máquina de extrusión sobre inversión total:			
Concepto	Sin Proyecto	Con Proyecto	Diferencia
Propiedad, Planta y Equipo (Inv. Total)	\$270.000.000	\$270.152.968,92	\$152.968,92
Inversión asignada a la producción de postes	\$60.021.000	\$60.021.000,00	\$34.004,99
Inversión Total	\$330.021.000	\$330.173.968,92	\$186.973,91

La inversión asignada a la producción de postes fue de \$60.021.000 como se evidencia en la **Tabla 23**. La fabricación de postes al día tiene un aproximado de 180 a 200, donde al mes se producen 4800 unidades. Los materiales plásticos tienen un valor de \$1300 COP cada uno por kilogramo sin la implementación del

⁷⁴ Banco de la República. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM) con validez del 26 de septiembre de 2016 [en línea] <<http://www.banrep.gov.co/es/trm>>[citado: 24 de septiembre de 2016].

proyecto. El costo de la cascarilla de arroz es de \$800 COP por kilogramo; la aplicación de esta generó una reducción en el uso de materiales plásticos, llegando a un valor de \$800 COP. En la **Tabla 24** se indican los valores descritos anteriormente.

Tabla 24. Costos variables

Concepto por Costos Variables / mes	Sin Proyecto	Con Proyecto	Ahorros
polietileno de alta densidad	\$1.300,00	\$800,00	\$500,00
Polipropileno	\$1.300,00	\$800,00	\$500,00
cascarilla de arroz	\$0,00	\$800,00	-\$800,00
Costo Unitario \$ Pesos COP	\$379,33	\$350,15	\$29,18
Costo Unitario \$ Miles de Pesos COP	\$0,38	\$0,35	\$0,03

En el **ANEXO L** se exponen los valores obtenidos para los costos fijos de operación con y sin proyecto. Al adquirir la cascarilla de arroz se reflejó un aumento en el valor del transporte debido a que es necesario llevarla hasta la planta de producción. El uso de la cascarilla de arroz no afecta costos fijos ni variables.

De acuerdo al análisis comparativo de costos se genera un ahorro del escenario sin proyecto y con proyecto de \$ 573.590,00

4.2 ANÁLISIS DE DEPRECIACIÓN DE LA INVERSIÓN ASIGNADA DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

En la **Tabla 25** se muestran los valores de la depreciación de la fecha estimada y anual de la máquina extrusora y del mezclador, donde la depreciación es la pérdida de valor de los activos fijos por su uso debido al aporte que genera en cuanto a ingresos o renta para la empresa. Por medio de estos valores podemos determinar la vida útil de estos equipos y tienen una consecuencia totalmente directa en la utilidad de la empresa.⁷⁵

⁷⁵GRANADOS, Ismael; Latorre, Leovigildo; RAMÍREZ, Elbar. Contabilidad General: fundamentos, principios e introducción a la contabilidad. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 187p. ISBN 978-958-701-769-4

Tabla 25. Depreciación de equipos

Inventario Fijo Depreciable	Fechas			Sistema de Depreciación				
	Compra	Hoy	Días	Vir. Adquisición	Vida Util	Vir. Salvamento	Dep. Anual	Dep. A Hoy
Extrusora	15/12/2015	26/10/2016	316	60.000.000,00	10	0,00	6.000.000,00	4.767.123,29
Mezclador	15/03/2013	26/10/2016	1321	10.000.000,00	10	0,00	1.000.000,00	3.547.945,21
			TOTAL	70.000,00				8.315,07

4.3 ANÁLISIS DE DEMANDA

El presente análisis se desarrolló durante los años 2013 a 2016 la **Tabla 26** presenta la cantidad de postes producidos durante los respectivos años.

Tabla 26. Producción anual de postes plásticos

Postes plásticos	2013	2014	2015	2016
Cantidad Demandada	52000	51800	51650	51000

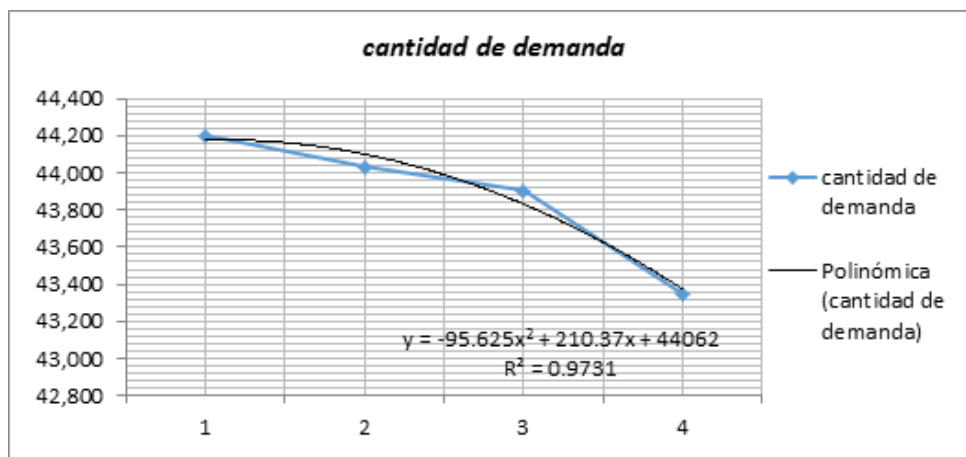
Se realizó la curva de demanda la cual se exhibe en la **Gráfica 15**, asumiendo que el 85% de los postes generados se vendieron, el 15% se descartó debido a la calidad. Los valores de la demanda se proyectaron para los siguientes cinco años.

Se estudiaron diferentes regresiones matemáticas: lineal, logarítmica y polinómica; tomando como escenario optimista la regresión polinómica debido a que esta presentó un valor más alto en la rentabilidad del proyecto.

Esta curva posee una pendiente negativa, lo que indica que al aumentar el precio aumenta la cantidad de personas que no desean adquirir el producto. Este comportamiento es natural y sigue la ley de la demanda.⁷⁶

⁷⁶ KRUGMAN,Paul; Olney, Martha; Wells, Robin. Fundamentos de economía.Barcelona : Reverté, 2008.p. ISBN 978 -84-291-2633-4

Gráfica 15. Cantidad Demandada



4.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

El flujo de caja libre evaluó los ingresos netos de la empresa como costos de operación, gastos operacionales, impuestos, inversión en la planta y equipos. Se extrajeron los datos de IPC (índice de precios al consumidor) y proyecciones macroeconómicas del Banco de la República⁷⁷ para así presentar las proyecciones del año 2017 y años posteriores. En el **ANEXO M** se muestra el flujo de caja libre efectivo con las proyecciones estimadas a cinco años y en la **Tabla 27** se presenta el valor calculado de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor presente neto (VPN).

Tabla 27. Predicción de TIR y VPN

Tasa interna de retorno (TIR)	45,54%
Valor presente neto (VPN)	\$ 89.387.764,46

Como se observa en la **Tabla 27** la Tasa Interna de Retorno (TIR) presentó un valor de 45,54%, indicando que al ser positivo este valor, el proyecto es viable. Esta tasa es un método de valoración de inversiones que mide la rentabilidad de los cobros actualizados, es decir, que presenta una rentabilidad mayor a la que reclama la inversión. Según Gonzalo Prudencio⁷⁸ se puede hacer una

⁷⁷ Banco de la República. Índice de precios al consumidor. [en línea] <<http://www.banrep.gov.co/es/trm>>[citado: 24 de septiembre de 2016].

⁷⁸ Análisis: Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. La Aplicación de VAN, TIR y TRK. 2014 [en línea] Análisis Evaluación financiera <<http://blogs.funiber.org/blog-proyectos/2014/01/08/analisis-evaluacion-financiera->

comparación de la TIR con la tasa de descuento preestablecida, como el valor de la TIR es mayor al de la tasa de descuento este se acepta y se considera factible invertir en el proyecto.

El valor presente neto es aquel que suma todos los valores actualizados de los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor inicial de la inversión⁷⁹, por lo tanto cuando se tiene un VPN positivo el proyecto será rentable y entre mayor sea el valor del VPN será mucho mejor. Se debe tener en cuenta la tasa de interés usada debido que el VPN depende directamente de esta, de manera que se eligió una tasa de interés fija. El valor del VPN del presente proyecto tomó un valor de \$ 89.387.764,46 demostrando así que el proyecto generará una rentabilidad importante para los interesados en el proyecto.

de-proyectos-de-inversion-la-aplicacion-de-van-tir-y-trk> [Citado 30 de septiembre de 2016]

⁷⁹ Métodos de análisis de inversiones-TIR VAN 2006 [en línea] <http://www.zonaeconomica.com/inversion/metodos> citado: 30 de septiembre de 2016].

5. CONCLUSIONES

- Al encontrar materiales plásticos diferentes al polipropileno y polietileno de alta densidad, afectaron las propiedades mecánicas y la porosidad de los postes plásticos fabricados. Al determinar las propiedades de cascarilla de arroz, se obtuvo un porcentaje de humedad bajo, siendo la característica más importante para la elaboración de materiales compuestos.
- Las características del producto obtenido presentaron una alta resistencia a agentes químicos, para ser usado en diferentes ambientes y ser expuestos a la intemperie sin que sea afectado por el medio.
- Al obtener una velocidad de trabajo en la extrusora constante, sin presentar un gradiente de velocidad grande conforme se llevó a cabo el proceso de extrusión, no se presentaron defectos prominentes en la superficie del material que dan una apariencia similar a la de un tallo de bambú.
- Las propiedades mecánicas del producto desarrollado en la presente investigación con respecto al generado actualmente en la empresa Ecomaderas plásticas, presentó un aumento en cuanto a la resistencia a la compresión gracias a la disminución de porosidad del material, caso contrario ocurrió con las propiedades de tracción debido al alto porcentaje de cascarilla de arroz. Se observó una contribución considerable del contenido de fibra vegetal sobre la densidad del material, haciendo un producto liviano y de fácil manejo.
- De acuerdo al análisis comparativo de costos se obtuvo una TIR de 45,54% y un VPN \$ 89.387.764,46 demostrando la viabilidad del proyecto, además se genera un ahorro de \$573.590,00 por la reducción del uso de plásticos reciclables al agregar cascarilla de arroz como materia prima.

6. RECOMENDACIONES

- Se sugiere un control de calidad en las materias primas plásticas y control de porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz debido a que afectan las características del producto generado.
- Se recomienda realizar un estudio con respecto a otras variables como el tamaño de partícula de la fibra vegetal para lograr una mayor adhesión entre las materias primas.
- Se sugiere utilizar otro tipo de fibras vegetales como carga en la matriz polimérica, teniendo en cuenta que esta fibra debe tener porcentaje de humedad bajo.
- La determinación de propiedades mecánicas es importante para evaluar este tipo de materiales compuestos, por ende se recomienda realizar otros ensayos mecánicos como la dureza, hinchamiento de agua etc. para obtener un producto de mayor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTIN VALVERDE, et al. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. En: SCIENTIA ET TECHNICA. Diciembre de 2007.vol. 37, p. 255.

ALEMÁN, Arnulfo Leonardo. Evaluación de la esterificación sobre cascarilla de arroz como estrategia para incrementar la capacidad de remoción del colorante rojo básico 46.Trabajo de grado (Magister en Ciencias-Química). Medellín. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias-Escuela de Químicas. 2012, 92 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Test method for Compressive Properties of rigid plastics. ASTM D 695- 02a. West Conshohocken, PA, 2007.

_____. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D-638. , West Conshohocken, PA, 2014

Análisis: Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. La Aplicación de VAN, TIR y TRK. 2014 [en línea] Análisis Evaluación financiera <<http://blogs.funiber.org/blog-proyectos/2014/01/08/analisis-evaluacion-financiera-de-proyectos-de-inversion-la-aplicacion-de-van-tir-y-trk>> [Citado 30 de septiembre de 2016]

ASKELAND, Donald R. and PHULÉ, Pradeep P. "CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES". 4ta Edición. International Thompson Editores S.A. México. 2004. 962 p. ISBN970-688-361-3

Banco de la República. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM) con validez del 26 de septiembre de 2016 [en línea] <<http://www.banrep.gov.co/es/trm>>[citado: 24 de septiembre de 2016].

BELTRAN RICO, Maribel., MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros: procesado y propiedades. España: Universidad de alicante, Facultad de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química. 2012.

BILURBINA, Luis y LIESA, Francisco. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. MARCOMPO SA. España.1990. ISBN 84-267-0790-4

CALLISTER, William Jr. Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Editorial Reverté. S.A. ISBN 9788429172539

CENTRO NACIONAL DE COSERVACION Y RESTURACIÓN. Prueba de Beilstein: Examen de materiales orgánicos y polímeros para detectar la presencia de coloro, con ejemplos de los productos probados. En: Notas Del ICC 17/1. p 2-4

CHUNG, D.L Deborah. Composite Materials: science and applications.USA: Springer. 1 p. ISBN 978-1-84882-831-5

CÓRDOBA, Carlos, et al. Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado, reforzado con fibra vegetal, tetera (*stromanthe stromathoides*). En: Revista iberoamericana de polímeros.2010. p. 417-427

CORNISH ALVARE, María Laura. El ABC de los plásticos. Universidad iberoamericana. 1997. ISBN 9688592838

DEL RIO BASORA, F, HERNANDEZ, S y SOSA, D. Estudio técnico para la aplicación de polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros comerciales. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de ingeniería química e industrias extractivas. México D.F. 1993

DONALD G. Fink, WAYNE Beaty. Manual práctico de electricidad para ingenieros. Barcelona. Editorial Reverté 1981 p.177. ISBN 84-291-3033-0

DORIA HERRERA, Gloria María; HORMAZA ANAGUANO, Angelina, Suarez Darío Gallego. Caracterización estructural de la cascarilla de arroz modificada como adsorbente alternativo y eficiente para la remoción de Cr (VI) en solución. En: revista de investigación Agraria y Ambiental. Enero-junio, 2013.

ECHEVERRIA, Manuel y LOPEZ, Orlando. Caracterización Energética De La Cascarilla De Arroz Para Su Aplicación En La Generación De Energía Termoeléctrica. Trabajo de grado Ingeniero mecánico. Quito.: Escuela Politécnica nacional, Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería. 2010

ENSINGER, S.A. la empresa [en línea]. < <http://www.ensinger.es/es/> > [citado el 24 de agosto de 2016]

GONZALEZ, Lina y GONZALEZ, Claudia. Aprovechamiento y reutilización de ABS POST- CONSUMO en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz. Trabajo de grado Ingeniero químico Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química, 2010. 43 p.

GRANADOS, Ismael; LATORRE, Leovigildo; RAMIREZ, Elbar. Contabilidad General: fundamentos, principios e introducción a la contabilidad. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 187 p. ISBN 978-958-701-769-4

GUAJARDO, Adriana B.; Najar Laura E.; Prósperi Susana B y Molina María G. Propiedades de los plásticos reciclados San Martín. Universidad Nacional de Cordoba. Facultad de ciencias aplicadas a la industria, U.N.C. 12 p.

GUIMARÃES CAMPÊLO José Elivalto, GOMES DE OLIVEIRA. Lindomar de Moraes Uchoa. Forragem de milho hidropónico produzida com diferentes substratos. En: Revista brasileira de zootecnia. 2007, vol 1 no 2, p.276-281, ISSN 1516-3598.

HARPER, A Charles. Modern Plastics Handbook. McGraw-Hill. 1999. ISBN 0-07-026714-6

ICA. Determinación del contenido de fibra detergente acida en materias primas de origen vegetal y alimentos balanceados para animales. En: Portal ica [en línea] (2008)<<https://portal.ica.gov.co/DocManagerSwift/User/HTMLServe.ashx?E=1ED1394A40635E56760AAE6A44B82126&PE=09C57DA5BE145FF5637DEA2CFC93475C&S=40&P=False&R=2067125528>> [citado 15 de agosto 2016].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 1998.

_____. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613 Bogotá: El Instituto, 2008.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998.

_____. Plásticos. Determinación del peso específico (densidad relativa) y de la densidad. Método de desplazamiento. NTC 907. Bogota: El Instituto, 1996.

_____. Determinación de los efectos de productos químicos líquidos, incluyendo el agua en los materiales plásticos. NTC 1027. Bogotá: El Instituto 1997.

KRUGMAN, Paul; Olney, Martha; Wells, Robin. Fundamentos de economía. Barcelona: Reverté, 2008.p. ISBN 978 -84-291-2633-4

LITVINOT, Victor M. De, Prajna P. Spectroscopy of Rubbers and Rubbery Materials. United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2002.p.180. ISBN 1-85957-280-4

Métodos de análisis de inversiones-TIR VAN 2006 [en línea] <http://www.zonaeconomica.com/inversion/metodos> citado: 30 de septiembre de 2016].

MORA BRAUTIGAN, Ileana. Nutrición animal. Costa rica: EUNED, 2007. 120 p; ISBN: 9977-64-557-4

MOSQUERA, David. Alternativas Tecnológicas Para El Uso De La Cascarilla De Arroz Como Combustible. Trabajo de grado ingeniero mecánico Santiago de Cali.: Universidad Autónoma de occidente. Facultad de ingeniería. Departamento de energética y mecánica, 2010. 108 p.

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Pearson Education 2006. ISBN 9702608120. 34 p.

PRIMO, Eduardo. Química Orgánica básica y aplicada de la molécula a la industria Tomo 1. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverté S.A. ISBN 84-291-7953-4

RAMOS CASTELLANOS, Pedro. Residuos: alternativas de gestión. Universidad de Salamanca. Vol 53 de colección Aquilafuente. 2003. ISBN 8478006958, 9788478006953

RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. Extrusión de plásticos: principios básicos. México: Editorial Limusa, S.A de C.V., 2012. 69 p. ISBN 978-968-18-4504-9.

RODENAS PASTOR, Mercedes. Los materiales plásticos en tecnología industrial I: prácticas de identificación. En: Revista digital sociedad de la información. No. 14 (Dic., 2008); p.9. ISSN: 1578-326x.

ROSALBA, Fuentes. Comportamiento mecánico del poliuretano reforzado con fibras de yute y fibras de cascarilla de arroz. Universidad de Guanajuato, México C.P.

SALADO, R. J. Los materiales plásticos en tecnología. Innovación y experiencias educativas. [En línea] vol. 26 enero (2010) Disponible en <http://goo.gl/bSLG4> [citado en 06 de septiembre de 2016]

SALVADOR, MD et al. Caracterización de fibra vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticos. Valencia, España. En: Universidad Politécnica de Valencia, Instituto de tecnología de materiales 4 p.

SANTACOLOMA VARÓN, Luz Elena. Protocolo de prácticas para la escuela de ciencias agrícolas pecuarias y del medio ambiente. Escuela de ciencias agrícola, pecuarias y del medio ambiente. 2014. Disponible en el portafolio de la Universidad nacional abierta y a distancia <datateca.unad.edu.co>

SILVA VELA, Alejandro Oscar. Estudio del comportamiento mecánico de compuestos de mezcla polimérica con adición de cascara de arroz y compatibilizante. Tesis de Doctorado. Doctor mecánico. Arequipa-Perú. Universidad Nacional De San Agustín, Escuela de Posgrado. Facultad de Ciencias Naturales y Formales. 2010. 100 p.

SMITH, Brian. Infrared spectral interpretation a systematic approach. New York: CRC Press 1998. 288 p. ISBN 0849324637

THOMAS, Sabu, POTHAN, A. Laly. Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: from Macro to Nanoscale. USA: Old city Publish, Inc. 2008. 3p.

TREVIÑO J., AROSEMENA G. Determinación de la fracción fibra de los forrajes. En: Instituto de alimentación y productividad animal del C.S.I.C. [en línea] (2011) <polired.upm.es/index.php/pastos/article/viewFile/1485/1491>

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. 6.2 análisis de forrajes de Van Soest [En línea]. <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201111/EXE%20NUTRIANIMAL%20MODULO/62_analisis_de_forrajes_de_van_soest.html> [citado 15 de agosto 2016].

USAL. Enseñanzas técnicas materiales plásticos. [en línea]. Disponible en <<http://ocw.usal.es/eduCommons/ensenanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/PLASTICOS.pdf>> [Citado 06 de septiembre de 2016]

VALLEJOS, María Angélica. Aprovechamiento integral del Cannabis sativa como material de refuerzo/carga del polipropileno. Universitat de Girona. Trabajo de doctorado Doctor Ingeniero químico. Facultat de ingenierías. Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària. 2006. ISBN: 8469000683 p. 98- 99

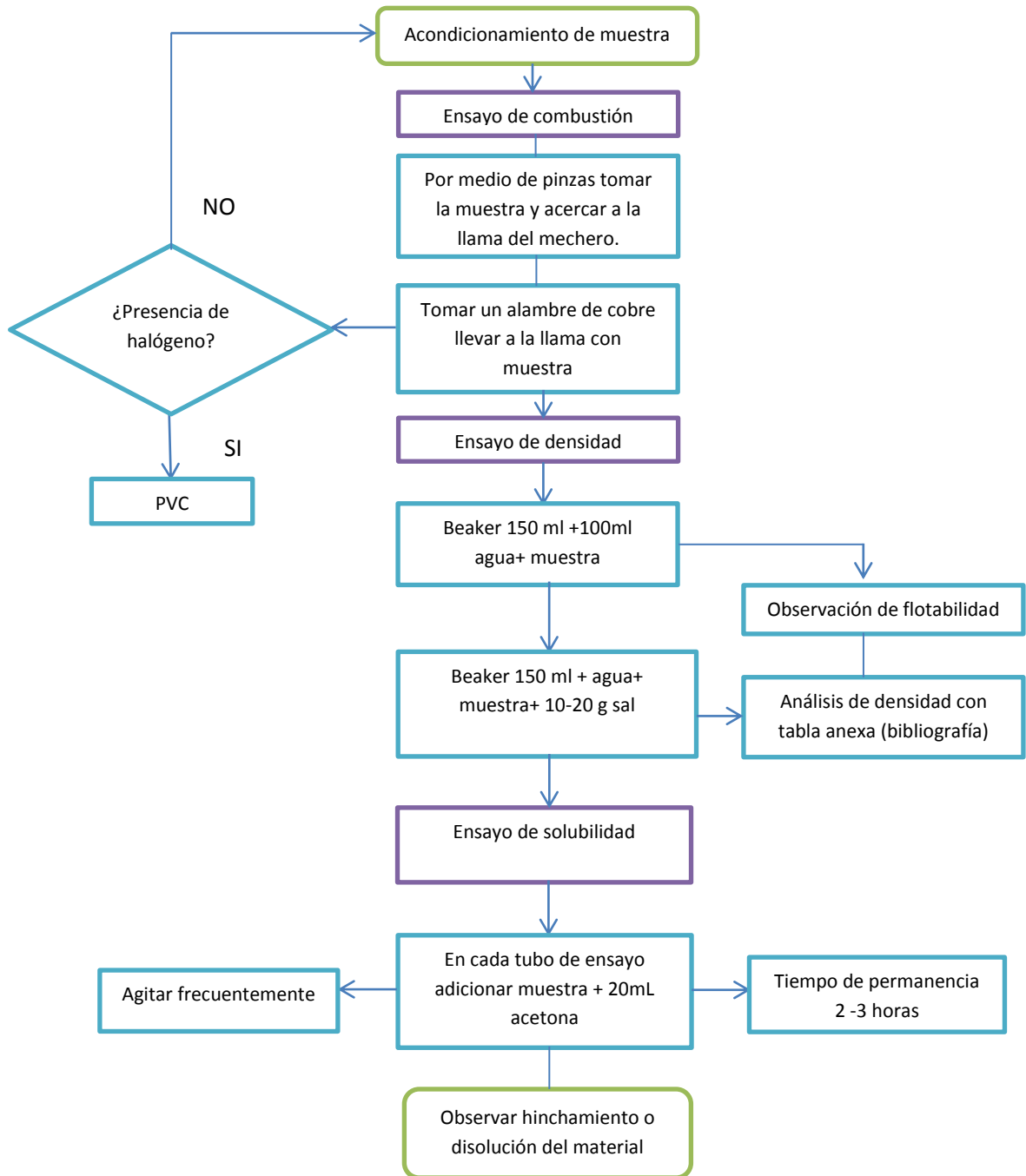
VARGAS, J. ALVARADO, P. Vega-Baudrit, J. PORRAS M. Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. En: revista científica.No.1 2003. p. 102

WIESLAWA, Urbaniak-Domalaga, The use of the spectrometric technique FTIR-ATR to examine the polymers surface. Technical University of Lodz, department of material.2012.

ANEXOS

ANEXO A

ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS



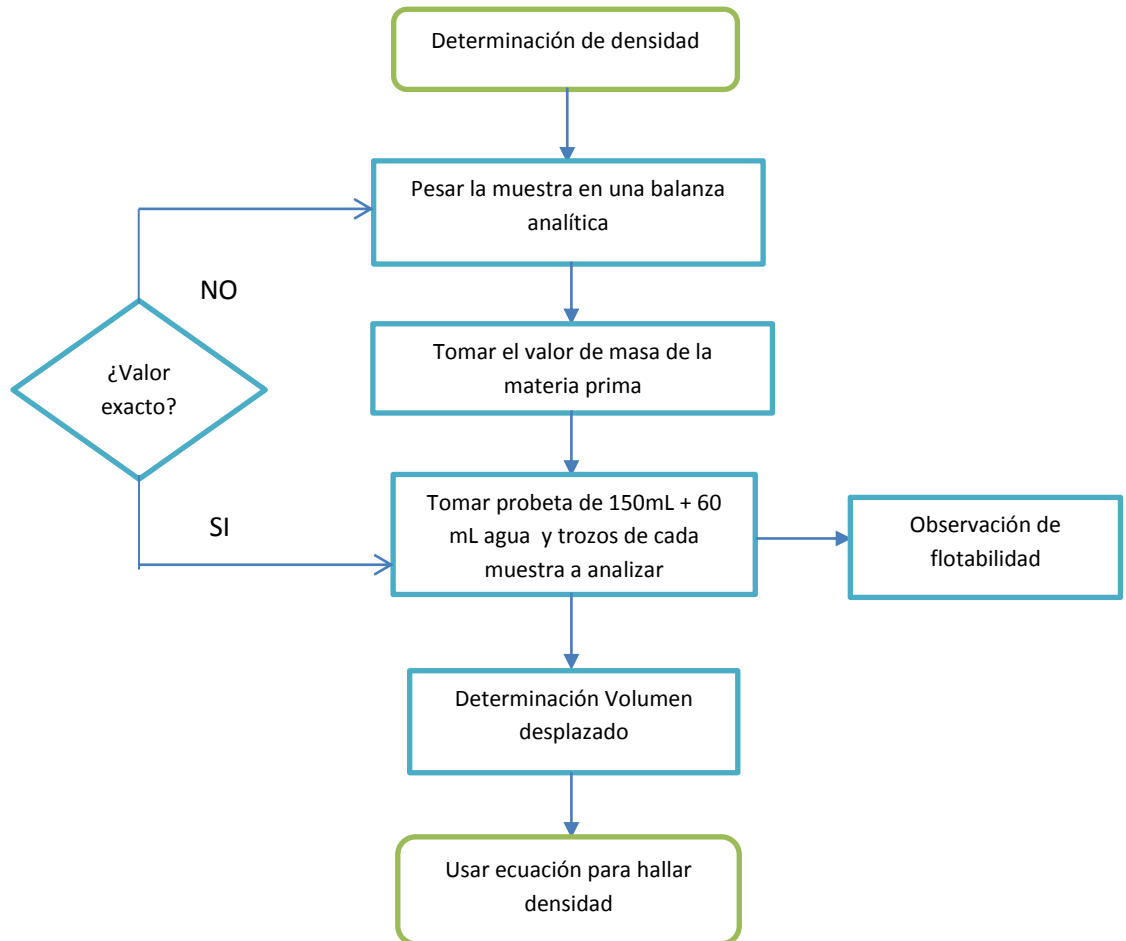
ANEXO B.

IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS POR COMBUSTIÓN

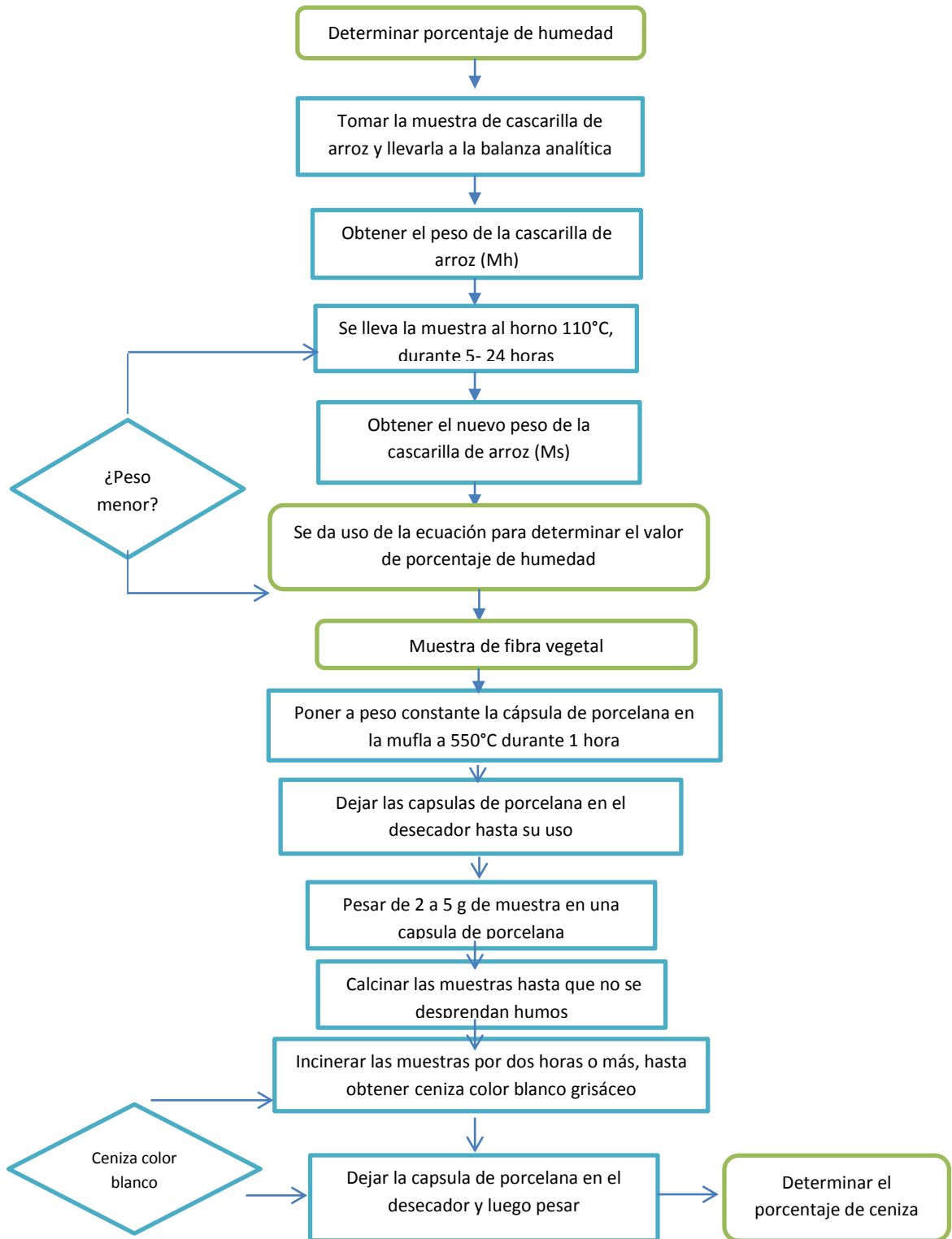
Tipo de plástico	Cantidad y color del humo	Color de la llama	Combustibilidad	Tipo de fusión	pH del humo	Olor
PEAD	Muy poco, blanco	Amarilla, centro azul	Continúa ardiendo tras quitar el mechero	Funde rápido y gotea	Neutro	A vela recién apagada
PEBD	Muy poco, blanco	Amarilla, centro azul	Continúa ardiendo tras quitar el mechero	Funde rápido y gotea	Neutro	A vela recién apagada
PP	Sin humo	Amarilla, centro azul	Continúa ardiendo tras quitar el mechero	Funde rápido y gotea	Neutro	Intenso a vela recién apagada
PVC	Bastante blancuzco	Contorno verde	Llama auto extingible	Se hablanda	Ácido	Intenso, asfixiante
PS	Negro con hollín	Amarilla	Continúa ardiendo tras quitar el mechero	Se vuelve pastoso	Neutro	Gas natural
PA-6	Muy poco, blanco	Azulada	Se auto extingue, arde mal	Pocas gotas, se descompone	Básico	Pelo quemado
POM	Poco humo	Azulada	Continúa ardiendo tras quitar el mechero	Gotea rápidamente y se descompone	Neutro	Formol
PET	Negro con hollín	Amarilla-anaranjado	Continúa ardiendo tras quitar el mechero	Gotea	Ácido	Dulzón
PC	Negro	Amarilla	Auto extingible con el tiempo	Funde y se descompone	ácido débil	Papel quemado
RF	Blanco	Amarillo, borde azul	Cuesta prender, auto extingible con el tiempo	Se carboniza	Neutro	Fenol

Fuente: Revista Digital Sociedad de la Información; los materiales plásticos en tecnología industrial 1. Prácticas de identificación; Rodenas Pastor Mercedes.

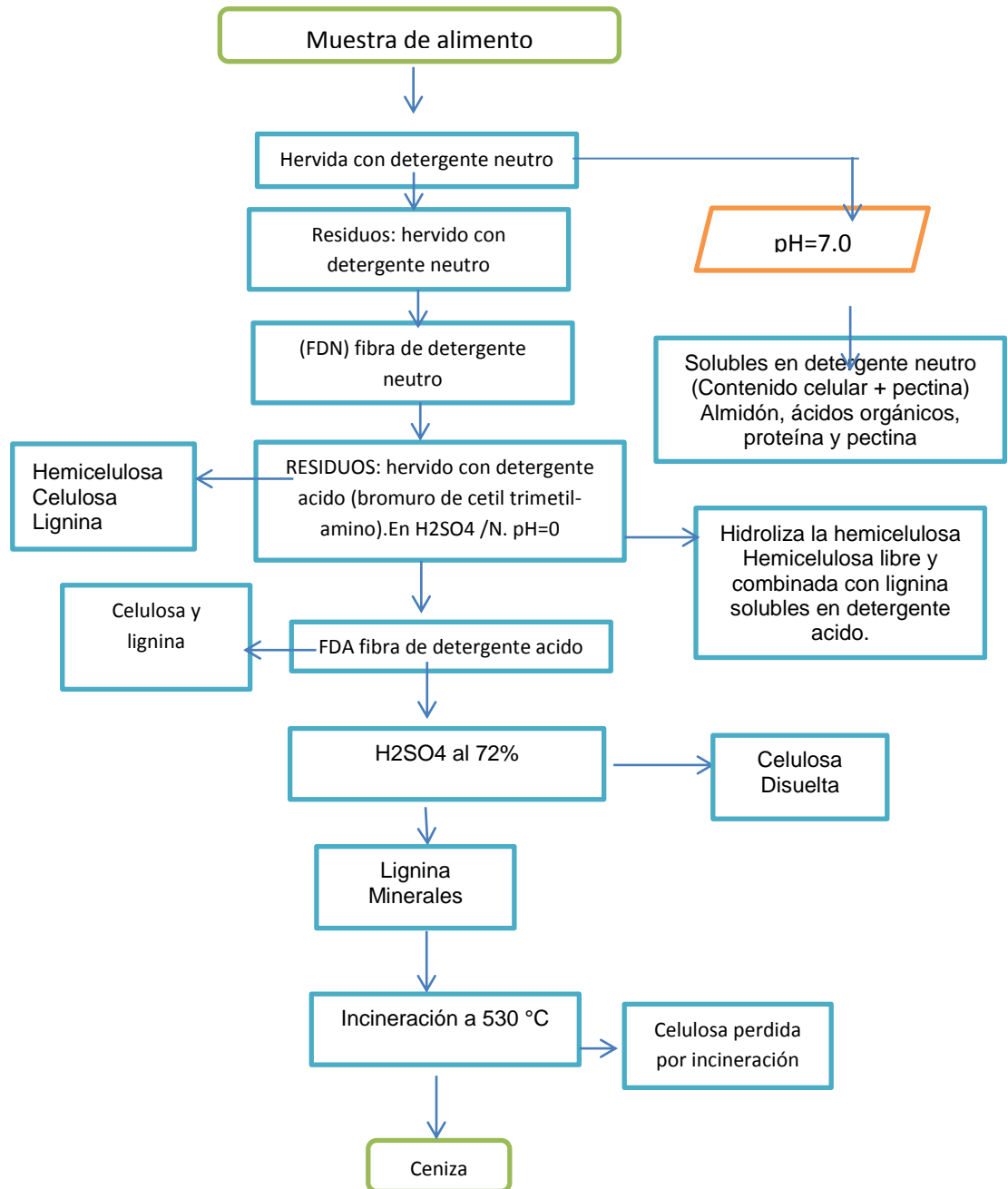
ANEXO C.
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD Y HUMEDAD



ANEXO D.
ENSAYO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD Y CENIZAS



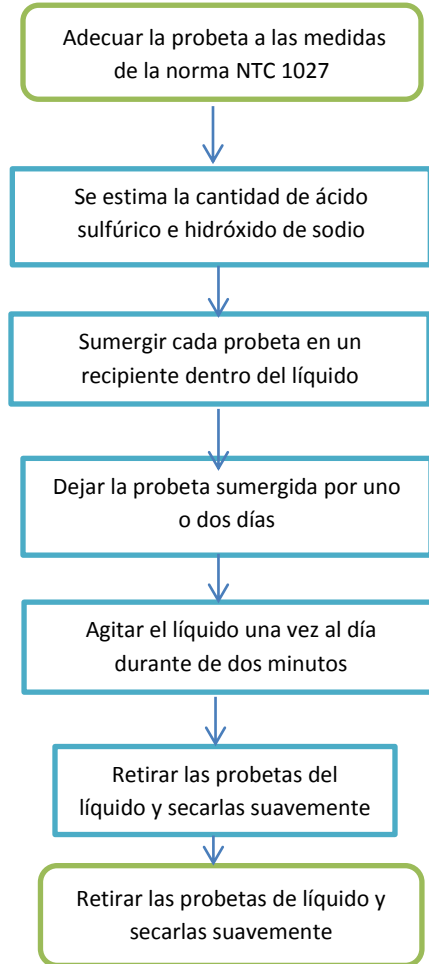
ANEXO E. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO



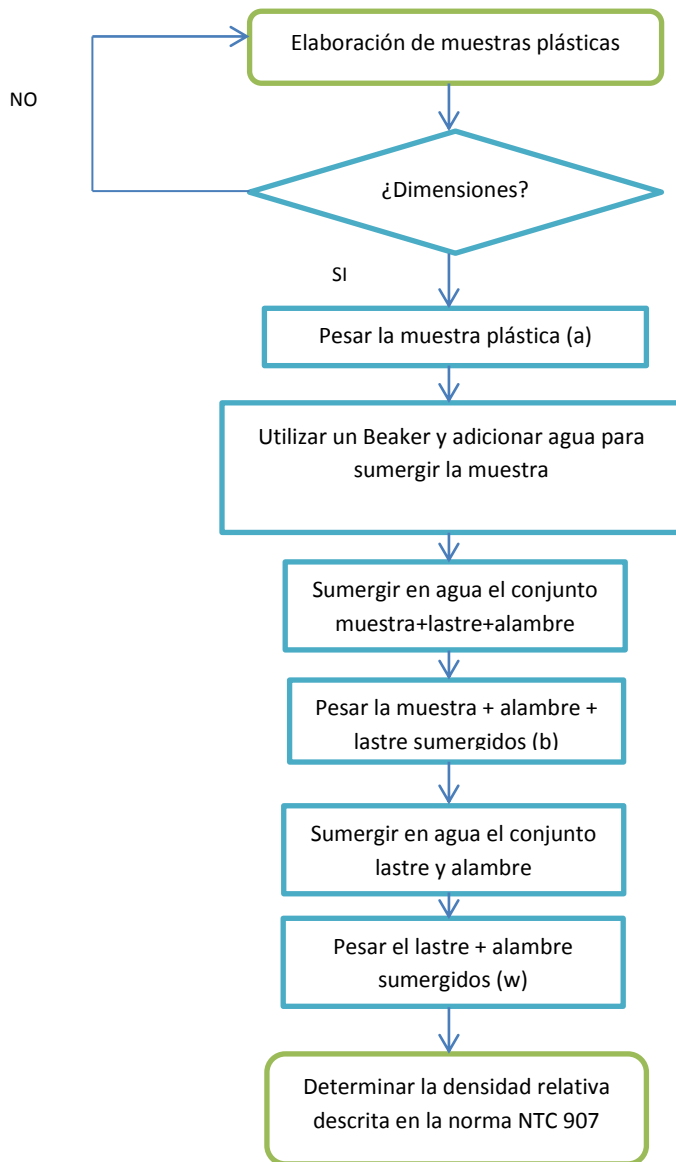
ANEXO F.
PROPIEDADES PLÁSTICOS

Plásticos	Combustión	Presencia halógeno	Densidad (g/mL)	Solubilidad en acetona	Solubilidad en xileno	Solubilidad en Diclorometano	Solubilidad en Ciclohexanona	Hinchamiento
PDAD y Fibra (tela)	Continua ardiendo después de retirar el mechero	NO	0,967	NO	SI	NO	NO	SI
PDAD	Continua ardiendo después de retirar el mechero	NO	0,903	NO	SI	SI	SI	NO
PP	Continua ardiendo después de retirar el mechero	NO	0,888	NO	SI	SI	NO	NO
PVC	Continua ardiendo después de retirar el mechero	SI	0,987	SI(LENTO)	NO	NO	SI	SI

ANEXO G.
ENSAYO RESISTENCIA A AGENTES QUÍMICOS



ANEXO H. ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA



ANEXO I.**RESULTADOS ENSAYO DE RESITENCIA A LA COMPRESIÓN**

MUESTRA	Fuerza N	Área mm ²	Resistencia a la compresiónMPa
1	500	126,677	3,95
		126,677	0,00
2	171	126,677	1,35
	272,342	132,732	2,05
3	173,8	126,677	1,37
	374,601	132,732	2,82
4	100,8	132,732	0,76
	165,2	132,732	1,24
5	126,762	132,732	0,96
		132,732	0,00
6	127,023	132,732	0,96
	189,7	132,732	1,43
7	124,017	132,732	0,93
	202,688	132,732	1,53
8	235,7	132,732	1,78
	278,66	132,732	2,10
9	565,659	132,732	4,26
	478,429	132,732	3,60
10	192,56	132,732	1,45
	265,873	132,732	2,00
11	292,075	132,732	2,20
	189,75	132,732	1,43
12	332,979	132,732	2,51
	833,036	132,732	6,28

ANEXO J.

RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN

muestra	rendimiento (N)	resistencia a la fluencia (Mpa)	tension (N)	modulo de elasticidad (Mpa)	alargamiento a la ruptura (mm) <i>er</i>	alargamiento rendimiento (mm) <i>eB</i>	alargamiento a la traccion (mm)	resistencia a la traccion (MPa)
9	408,8	3,49	414,09	16	94,930	43,06	50,78	3,54
	465,35	3,72	468,03	15.6	88,590	55,81	59,86	3,74
	409,84	3,27	436,81	16	42,050	32,93	43,1	3,48
10	799,24	7,15	813,74	27	109,39	69,43	86,53	7,28
	921,88	6,25	926,85	18	102,42	87,58	93,00	6,28
11	360,47	2,68	363,22	14.6	33,340	31,4	32,03	2,7
	663,48	4,94	668,97	16.6	99,160	74,32	83,61	4,98

ANEXO K.
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES


PROPIEDADES	MEZCLA 30 % CASCARILLA DE ARROZ	MEZCLA SIN CASCARILLA DE ARROZ
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	6,28	1,24
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	3,74	6,39
DENSIDAD (g/cm ³)	1,05995	2,066
RESISTENCIA A HIDROXIDO DE SODIO	Disgregación mínima, no presenta cambio de color	Si presenta cambio de color, no genera disgregación
RESISTENCIA A ACIDO SULFURICO	Si presenta cambio de color, no genera disgregación	Disgregación mínima, no presenta cambio de color

ANEXO L.
COSTOS FIJOS DE OPERACIÓN MENSUAL

Concepto por Costos Fijos	Sin Proyecto	Con Proyecto	Ahorros
Costos Mano de Obra / Mensual	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ -
Costo Servicios Públicos (Energía, Oxígeno y Gas)	\$ 5.100.000	\$ 5.100.000	\$ -
Otros Costos	\$ 100.000	\$ 110.000	\$ (10.000,00)
Costo Total de Operación en Cifras \$ COP / mes	\$ 7.700.000	\$ 7.710.000	\$ (10.000,00)
Costo Total de Operación en Cifras \$ COP / anual	\$ 92.400.000	\$ 92.520.000	\$ (120.000,00)
Costo Total de Operación en Cifras \$ Miles COP / mes	\$ 7.700	\$ 7.710	\$ (10,00)
Costo Total de Operación en Cifras \$ Miles COP / anual	\$ 92.400	\$ 92.520	\$ (120,00)

ANEXO M.
FLUJO DE CAJA LIBRE

FLUJO DE CAJA LIBRE	2016	2017	2018	2019	2020
Ingresos Netos		\$ 132.140.649,25	\$ 136.316.254,31	\$ 140.896.337,70	\$ 145.461.126,39
- Costos de Operación		\$ 94.370.400,00	\$ 97.352.504,64	\$ 100.623.548,80	\$ 103.883.751,78
- Gastos Operacionales		\$ 3.552.258,39	\$ 3.664.509,75	\$ 3.787.637,28	\$ 3.910.356,73
- Pago de Impuestos		\$ -	\$ 11.263.630,23	\$ 11.620.287,19	\$ 12.011.491,54
- Inversión en Planta y Equipo	\$ 60.021.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de Caja Operativo	\$ (60.021.000,00)	\$ 34.217.990,86	\$ 24.035.609,68	\$ 24.864.864,43	\$ 25.655.526,35


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Agosto - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotros **Justein Melissa Baller Gonzalez y Alejandro Rios Castiblanco** en calidad de titulares de la obra, **Evaluación del uso de cascarilla de arroz, polietileno y polipropileno en la producción de postes para uso agropecuario**, elaborada en el año **2016**, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad de América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad de América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Agosto - 2016

- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **Licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor. X



Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C, a los 9 días del mes de noviembre del año 2016.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Justein Melissa	Baller Gonzalez
Documento de Identificación No.	Firma
1013650266	Melissa Baller Gonzalez.

Autor 2

Nombres	Apellidos
Alejandro	Rios Castiblanco
Documento de Identificación No.	Firma
1024548297	Alejandro Rios