

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**Determinación de los parámetros de operación del proceso de obtención de  
madera plástica a partir de residuos plásticos y cáscara de arroz.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:**

**Bach. Rodriguez Huertas, Jhon Anthony**

**Bach. Moreno Chozo, Nicolas Segundo**

**ASESOR:**

**M. Sc. Diaz Paredes, Manuel Antonio- 0000-0003-1244-9991**

**LAMBAYEQUE – PERU  
2023**

**Determinación de los parámetros de operación del proceso de obtención de  
madera plastica a partir de residuos plásticos y cáscara de arroz.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Rodriguez Huertas, Jhon Anthony  
Bach. Moreno Chozo, Nicolas Segundo

**APROBADO POR:**



---

**Dr. Angel Wilson Mercado Seminario  
Presidente**



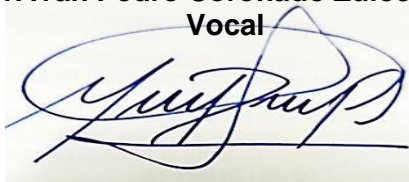
---

**Ing. M.Sc. Ruben Dario Sachun Garcia  
Secretario**



---

**Dr. Ivan Pedro Coronado Zuloeta  
Vocal**



---

**Ing. M.Sc. Manuel Antonio Diaz Paredes  
Asesor**

## DEDICATORIA

*A las mujeres que más amo sobre esta tierra:*

*Gladys Huertas; Pilar Huertas; Felicita Cruz;*

*Socorro Huertas; Zoila Huertas.*

*Eternamente.*

*A ti Matildita en el cielo.*

*Por ser mi madrina y como una mamá.*

*Eternamente.*

*A mi tío Oscar Huertas en el cielo.*

*Porque siempre anhelaste este momento.*

*Eternamente.*

*A nuestra eterna amistad queridos amigos, hermanos: A. Llontop*

*y Alex F. por su desinteresado y constante apoyo.*

*Eternamente.*

*A ustedes: Harry; Madonna; Deysi; Kina; Nino y Nerón.*

*Por hacer de mi vida la mejor de todas.*

*Eternamente.*

*Al resto de mi familia y amigos.*

*Por cada uno de esos momentos inolvidables.*

*Eternamente.*

## DEDICATORIA

*Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mi madre y a mi padre desde el cielo, que me apoyaron y me contuvieron en los peores momentos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.*

*Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.*

*También quiero dedicarle este trabajo, a mi esposa Juana Iris Carlos Peralta, por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, porque la amo y la quiero, porque tú, me ayudas a alcanzar el equilibrio que me permite dar todo mi potencial. Nunca dejare de estar agradecido por esto.*

*También quiero dedicarles este trabajo a mis hijos, mi motor y motivo, Caleb Nicolas y Mia Luana. Sus nacimientos han sido el impulso y han coincidido con la finalización de este proyecto de tesis. Sin duda, son lo mejor que me ha pasado, y han llegado en el momento justo para darme el ultimo impulso que me faltaba para terminar el proyecto.*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia, además el reconocimiento especial a mi Madre y a mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Al Ingeniero: Manuel Paredes por su importante apoyo a lo largo del desarrollo de mi investigación y por la información y datos técnicos aportados, sin los cuales no se habría llegado a ningún lado.

## INDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUCCION .....	9
2 SITUACION PROBLEMÁTICA .....	10
2.1 FORMULACION DEL PROBLEMA .....	11
2.2 OBJETIVOS .....	11
2.3 ALCANCE .....	12
2.4 JUSTIFICACION .....	13
3 ANTECEDENTES Y BASES TEORICAS.....	14
3.1 ANTECEDENTES .....	14
3.2 BASE TEORICA.....	16
3.2.1 MADERA PLASTICA .....	16
3.2.2 RECICLAJE.....	17
3.2.3 COMPUESTOS DE MADERA PLÁSTICA .....	19
3.2.4 MATERIAS PRIMAS .....	25
3.2.5 FIBRAS DE REFUERZO .....	32
3.2.6 TECNOLOGIA DEL RECICLAJE .....	33
3.2.7 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES .....	35
4 METODO Y MATERIALES .....	36
4.2 METODOLOGIA.....	40
4.2.1 PRIMERA ETAPA: OBTENCION DEL PRODUCTO .....	40
4.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN Y ENSAYO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS .....	51
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.1 RESULTADOS .....	54
5.2 DISCUSIÓN .....	65
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
6.1 CONCLUSIONES.....	67
6.2 RECOMENDACIONES .....	68
7 BIBLIOGRAFIA .....	69
8 ANEXOS .....	71

## INDICE DE TABLAS

Tabla 01. Ventajas de los compuestos de madera plástica .....	21
Tabla 02. Características del tereftalato de polietileno (PET) .....	27
Tabla 03. Características del polietileno de alta densidad (HDPE) .....	28
Tabla 04. Características del cloruro de polivinilo (PVC) .....	29
Tabla 05. Características del polietileno de baja densidad (LDPE).....	29
Tabla 06. Características del polipropileno (PP) .....	30
Tabla 07. Características del poliestireno (PS).....	31
Tabla 08. Características de otro tipo de plásticos.....	31
Tabla 09. Tecnologías de reciclaje .....	33
Tabla 10. Propiedades de la cáscara de arroz, polipropileno y polietileno de baja densidad .....	54
Tabla 11. Parámetros de operación y valores de ensayos de resistencia mecánica.....	55
Tabla 12. Media aritmética .....	64
Tabla 13. Desviación estándar .....	65

## INDICE DE FIGURAS

Figura 01. Ciclo del reciclaje.....	19
Figura 02. Composición de la madera plástica).....	20
Figura 03. Tablero de madera plástica .....	23
Figura 04. Clasificación del plástico .....	25
Figura 05. Nomenclatura de identificación de los plásticos .....	26
Figura 06. Clasificación de las fibras .....	32
Figura 07. Características del poliestireno.....	38
Figura 08. Polietileno de baja densidad de pellet.....	38
Figura 09. Cáscara de arroz molido.....	39
Figura 10. Cáscara de arroz molido.....	39
Figura 11. Estufa empleada para el secado de la cáscara de arroz .....	42
Figura 12. Molido de la cáscara de arroz.....	43
Figura 13. Pesado de plástico PEBD.....	44
Figura 14. Pesado de cáscara de arroz.....	44
Figura 15. Mezclado de componentes.....	45
Figura 16. Maquina extrusora automatizada.....	46
Figura 17. Tablero de control de temperatura .....	46
Figura 18. Adición de componentes al proceso de extrusión .....	47
Figura 19. Acoplamiento de molde para probeta de ensayo de flexión.....	47
Figura 20. Acoplamiento de molde para probeta de ensayo de compresión.....	48
Figura 21. Enfriamiento de moldes .....	48
Figura 22. Desmoldado .....	48
Figura 23. Retiro de madera plástica para probeta de ensayo de flexión .....	49
Figura 24. Probetas para ensayo de resistencia mecánica.....	50
Figura 25. Equipo universal para determinar resistencia mecánica de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo .....	53



Figura 26 Composición: CÁSCARA DE ARROZ – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD / Temperatura del Proceso .....	56
Figura 27 Composición: POLIPROPILENO-POLIETILENO /Temperatura del proceso .....	56
Figura 28 Figura 28. Composición: CÁSCARA DE ARROZ-POLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD/Temperatura del proceso .....	57
Figura 29 Composición: CÁSCARA DE ARROZ – POLIETILENO / Flujo másico del proceso .....	58
Figura 30 Composición: POLIPROPILENO – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD/ Flujo másico del proceso .....	58
Figura 31 Composición: CÁSCARA DE ARROZ /POLIPROPILENO/ POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD / Flujo másico del proceso .....	59
Figura N°32: Esfuerzo de flexión en el punto medio .....	60
Figura N°33 Resistencia a la compresión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD .....	61
Figura N°34 Resistencia a la compresión paralela de la mezcla POLIPROPILENO – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD .....	61
Figura N°35 Resistencia a la compresión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZPOLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD .....	62
Figura N°36 Resistencia a la flexión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD .....	62
Figura N°37 Resistencia a la flexión paralela de la mezcla POLIPROPILENO – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD .....	63
Figura N°38 Resistencia a la flexión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ- POLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD .....	63

## RESUMEN

En el presente año 2022, los alumnos del Círculo de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la UNPRG de Lambayeque desarrollaron el proyecto titulado: “Fabricación de Mobiliario Escolar, a partir de perfiles de Madera Plástica reciclada, para los programas sociales PRONOEI y Wawa Wasi de la provincia de Chiclayo-Lambayeque”. Estas sillas (mobiliario escolar) fue construido con madera plástica, que es un material reciclado 100% plástico, que ofrece ventajas en términos de costos, durabilidad, resistencia a los agentes degradativos, facilidad de moldeado y no requiere mantenimiento. En base a esta experiencia, de carácter social y ambientalista, se propuso formular una nueva composición de madera plástica, en el cual se pueda adicionar en su composición un residuo sólido como la cáscara de arroz y un residuo plástico como el polipropileno y que otorguen la misma ventaja que ofrece la madera plástica utilizada en el proyecto mencionado. El nuevo material formulado de madera plástica se caracteriza física y mecánicamente, con el fin de promover y aprobar su uso en la construcción de diferentes productos entre: carpetas; bancas; juegos recreativos; cercas, para lo cual, se realizaron ensayos de caracterización física como densidad y de caracterización mecánica tales como resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

**Palabras clave:** Madera plástica; Wawa wasi; cáscara de arroz; resistencia a la compresión; resistencia a la flexión.

## ABSTRACT

In the current year 2022, the students of the Research Circle of the Professional School of Chemical Engineering of the UNPRG of Lambayeque developed the project entitled: "Manufacture of School Furniture, from recycled Plastic Wood profiles, for the social programs PRONOEI and Wawa Wasi from the province of Chiclayo-Lambayeque". These chairs (school furniture) were built with plastic wood, which is a 100% plastic recycled material, which offers advantages in terms of costs, durability, resistance to degradative agents, ease of molding and does not require maintenance. Based on this experience, of a social and environmental nature, it was proposed to formulate a new composition of plastic wood, in which a solid residue such as rice husk and a plastic residue such as polypropylene can be added to its composition and that grant the same advantage offered by the plastic wood used in the mentioned project. The new formulated plastic wood material is physically and mechanically characterized, in order to promote and approve its use in the construction of different products, including: folders; benches; recreational games; fences, for which physical characterization tests such as density and mechanical characterization such as compressive strength and flexural strength were performed.

**Keywords:** Plastic wood; Wawawasi; rice husk; compressive strength; flexural strength.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la nueva especialidad de economía circular, ofrece iniciativas para cualquier emprendimiento sustentable dentro de un tratamiento ecológico que tiene como objetivo: reciclar y reducir los residuos, como también un tratamiento social que ofrece puestos laborales a personas en situación de vulnerabilidad.

El proceso de obtención de madera plástica no es solo ambiental, sino también social, ya que no solo implica una inserción laboral para los que menos tienen como los recicladores, sino también la posibilidad de divisar un futuro emprendedor, con oportunidades y crecimiento.

Con este estudio se pretende aportar un granito de arena a una problemática que nos preocupa a nivel mundial como es el calentamiento global y los altos porcentajes de residuos reciclables que tardan miles de años en desintegrarse.

El producto final de esta tecnología verde son barras o perfiles de madera plástica con la que se pueden construir diferentes objetos. Una vez que la madera está lista, se procede a construir, ultimando los detalles y terminaciones, al igual que en una carpintería de madera natural como: macetas, bancos para plazas, muebles de todo tipo, juegos infantiles, postes para cercas, etc.

En este sentido, el aporte de los investigadores es dar a conocer el procesamiento y la caracterización de un tipo de madera plástica, el cual es obtenido de una mezcla de polietileno de baja densidad , polipropileno y cáscara de arroz ; ya que las cantidades de plástico y de cáscara de arroz que se utilizan para obtener este innovador material compuesto se encuentran en grandes cantidades, como residuos sólidos en nuestra región, los primeros se encuentran en la basura de la comunidad y el tercero, como la cáscara de arroz propio de la industria arrocería de la región Lambayeque.

## **2. SITUACION PROBLEMÁTICA**

Esta investigación pretende incursionar en el diseño de un nuevo producto, que, aunque ya existe en el mercado internacional, en nuestro país todavía no se produce. Se trata de la madera plástica, utilizada para la fabricación de mobiliario de uso doméstico - campestre y que presenta mejores características que la madera natural.

El uso de material reciclado para obtener productos o insumos, es una opción que tiene buena acogida; sumado esto que el reemplazo de la madera natural por la sintética ayuda a disminuir la tala indiscriminada de bosques, siendo entonces un proceso e industria netamente sostenible y amiga del medio ambiente.

En el mundo actual, el tema de la responsabilidad social empresarial, la ecología y el medio ambiente ha tomado mucha fuerza, y es aquí donde se percibe que la madera al ser extraída y el plástico al ser desechado generan un problema medioambiental, que de continuar la situación llegará un momento donde la cantidad de árboles no abastecerá la demanda de productos de madera, conllevando a la desaparición progresiva de la masa forestal, provocando problemas de contaminación y afectación de los ecosistemas.

Por otro lado, la generación de plástico en los últimos años ha ido aumentando y como es sabido la degradación de estos desechos plásticos puede tardar varios años, surgiendo también un problema asociado a la contaminación ambiental, trayendo consecuencias como enfermedades, estancamiento de aguas negras y por ende la muerte de animales.

La escasa investigación en nuestra región sobre los procesos post-consumo que se le pueden realizar a los residuos plásticos y la facilidad de contar con madera al extraerla de la masa forestal, ha conllevado a que no se implementen nuevas alternativas de solución que sustituyan los materiales tradicionales por productos y

materias primas que estén apoyados en temas ambientales y que además poseen mejores propiedades mecánicas.

Por ello la plastimadera es un nuevo material alternativo que reúne las características y supera las de una madera tradicional, además es amigable con el medio ambiente ya que para su fabricación se utilizarán materias primas como el polietileno y polipropileno los cuales serán producción peruana.

En nuestro caso, debemos de realizar los análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural, elaborado a base de plásticos reciclados y cáscara de arroz. Pérez Méndez 2010, pág. 92, indica que: “La utilización de la madera plástica resulta beneficiosa para el medio ambiente, ya que, por ser fabricada de un material de desecho, reduce los niveles de contaminación”.

## **2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Todos sabemos que el plástico es una problemática global, nosotros tenemos una solución que podría revolucionar la industria, con un producto sustentable, de calidad industrial y con impacto social, surge la propuesta de recomendar un nuevo proceso tecnológico, a partir de la cascara de arroz y residuos plásticos para la obtención de madera plástica, determinando los parámetros óptimos de operación para el proceso tecnológico innovado.

## **2.2 OBJETIVOS**

### **2.2.1 Objetivo General**

- a. Determinar los parámetros de operación del proceso de obtención de maderaplástica a partir de plásticos post -consumo y cáscara de arroz.

### **2.2.2 Objetivos específicos**

- a. Definir los tipos de plásticos post consumo que se van a utilizar en la elaboración de madera plástica.

- b.** Diseñar el proceso de obtención de madera plástica a partir de plásticos post consumo y cáscara de arroz.
- c.** Evaluar los parámetros de operación del proceso de obtención de madera plástica.
- d.** Obtener un material a partir de plástico post consumo y cáscara de arroz para ser usado como sustituto de la madera en la fabricación de mobiliario.
- e.** Determinar si el material compuesto cumple con las condiciones generales de las propiedades mecánicas, según la Norma Técnica peruana (NTP) para la madera convencional.

### **2.3 ALCANCE**

El reciclaje de productos plásticos disminuye la cantidad de residuos domiciliarios, lo que permite dos aplicaciones básicas: por un lado, el plástico puede reprocesarse y volver a fundirse para distintos usos, y también puede usarse incinerándolo, aprovechando su poder calorífico. Así mismo, los residuos vegetales, como cáscara de cereales, aserrín, arroz, etc; sólo son utilizados en su mayoría para la generación de energía mediante la incineración.

Dado lo anterior, se ha detectado la oportunidad de reincorporar tales residuos a un proceso productivo, a través del cual es factible conseguir un material que combina el plástico y la madera, con lo que por un lado se evitaría o minimizaría el daño ambiental provocado por este tipo de residuos y además se obtendría un beneficio económico, de lo que comúnmente se considera basura.

En nuestro país, poco se conoce sobre este tipo de materiales, se ha experimentado escasamente en la preparación de mezclas de plásticos post consumo con algún otro residuo, y generalmente, los trabajos realizados no han tenido mucha difusión en lo que ha aplicaciones prácticas se refiere, por lo que en el objetivo que este trabajo persigue, se incluye no sólo la búsqueda de las propiedades mecánicas del material sino también la propuesta de un proceso

productivo estandarizado que puede ser tomado para una futura aplicación del mismo.

El material aquí descrito, de ahora en adelante denominado Madera Plástica ,es uno que se compone a partir de cáscara de arroz que se mezcla con plásticos-post consumo que en nuestro caso son el polietileno y polipropileno , para obtener un compuesto fluido, cuya apariencia final es similar a la madera, pero que al mismo tiempo presenta las ventajas inherentes a los plásticos, es decir, tiene la posibilidad de procesarse por medio del moldeo por extrusión, inyección ó compresión, es ligero, de fácil mantenimiento, y pueden obtenerse distintas formas y piezas complejas a un costo muy accesible, además, de poderse cortar, y perforar como la madera tradicional.

La incorporación de un nuevo material en la industria mobiliaria, a partir de madera plástica, fomenta los valores que persigue el Desarrollo Sostenible, ya que, además de crearse un beneficio social y económico con la generación de empleos y divisas, se desarrolla un material “ecológico”, con lo que se colabora en el proceso de conservación de la naturaleza, sustituyendo en muchas aplicaciones a la madera natural y disminuyendo la tala de árboles.

## **2.4 JUSTIFICACION**

La elaboración de este proyecto ayudará a la incorporación y obtención de nuevos procesos y tecnologías para el tratamiento de los desechos plásticos que se originan en la región Lambayeque. También este estudio puede ser implementado como proyecto productivo y poder presentarlo a un fondo concursable, para que pueda contribuir a la solución de un problema social arraigado en la ciudad, como es el desempleo a raíz del gran número de población desplazada de otras regiones.



Otro punto importante es la sensibilización de la ciudadanía sobre la importancia de la correcta selección de residuos sólidos y por último el valor ambiental dado a que las actividades a desarrollar en proyectos de reciclaje, basados en este estudio, no causan impacto ambiental negativo por el contrario contribuirá en la protección del ecosistema al evitar la tala de árboles.

Este proyecto además está sustentado por nuestra normativa, con respecto al cuidado del medio ambiente, el cual señala que para producir, intercambiar y consumir bienes y servicios debemos actuar con responsabilidad social y ambiental.

Es importante plantear un proyecto que tenga aplicación en una propuesta productiva, para la disminución del impacto ambiental ocasionado por las problemáticas mencionadas. Esta propuesta debe tener como fin realizar artículos fabricados con madera plástica; este material contribuye una solución a la tala de bosques y al incremento de los residuos plásticos.

### **3. ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS.**

#### **3.1 ANTECEDENTES**

Según (Brañez, Luz 2016). En la tesis: **“Estudio del sinterizado de materiales compuestos de plástico reciclado y madera recuperada mediante moldeo por compresión.”** La mencionada investigación fue realizada para optar el grado de Magíster en Ingeniería y Ciencia de los Materiales en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Tuvo como objetivo determinar el estudio del sinterizado de materiales compuestos fabricados a partir de polipropileno reciclado y partículas de madera capiróna recuperadas, empleando el proceso de moldeo por compresión. El tipo de investigación realizado fue experimental. La conclusión obtenida fue que, para una misma proporción y tamaño de partícula de madera, las propiedades mecánicas en geometría de flexión se incrementan a mayor temperatura de trabajo y, de manera similar, también se incrementa con el

tiempo hasta un máximo para luego disminuir con tiempos excesivos. El aporte que brindó el autor es el de poder escoger el tipo de sistema de moldeo a utilizar para la fabricación de la plastimadera, la cual fue por moldeo a extrusión.

Según (Lora, Ikeda 2016). En la tesis: **“Comportamiento al intemperismo de un material compuesto bambú - plástico elaborado con partículas de guadua angustifolia kunth y polipropileno”**. La investigación fue realizada para obtener el título de Ingeniero forestal en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Tuvo como objetivo analizar el comportamiento al intemperismo del material compuesto bambú – plástico, elaborado con partículas de guadua angustifolia kunth y polipropileno. El tipo de investigación realizada fue explicativa - experimental. Donde obtuvo como conclusión que el compuesto con menor proporción de partículas presentó un mejor comportamiento frente al intemperismo en las propiedades de contenido de humedad, absorción, hinchamiento, densidad, flexión y tensión; sin embargo, no frente al cambio de color. El aporte del autor ayudó a definir una de las dimensiones con respecto a la variable propiedades mecánicas, que es la resistencia a compresión.

Según (Ospina, Carlos 2014) En la tesis: **“Evaluación de las propiedades mecánicas de los perfiles extruidos a partir de mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol S.A.S.”** Esta tesis fue presentada para el grado de Ingeniero de Producción. Lo cual tuvo como objetivo Evaluar la flexión de los perfiles extruidos a partir de mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol S.A.S. El tipo de investigación que se realizó fue explicativo. Las conclusiones obtenidas fueron que el estudio de compatibilidad de los materiales de insumos de la madera plástica utilizados en Maderpol S.A.S, se encontró que la mezcla entre el Polipropileno (PP) y el Polietileno (PE) es muy favorable para sus productos básicamente por ser polímeros. Se recomendó aumentar el número de pruebas mecánicas aplicadas a este material, con el fin de ampliar y explorar sus usos. El aporte del mencionado autor impulsó en la

utilización de la máquina extrusora para su proceso de fabricación de lamadera plástica.

Según (Martinez, Alvar 2015) En la tesis:” ***Composición, condiciones de extrusión y propiedades de eco-compuestos de residuos plásticos de origen agrario y urbano reforzados con fibras residuales de celulosa.***” Tesis doctoral. El objetivo fue establecer la relación entre la composición, las condiciones de procesamiento y la estructura y propiedades de materiales compuestos obtenidos a partir de residuos plásticos tanto de origen agrario como urbano y fibras residuales de celulosa procedentes de la fabricación de pasta de celulosa kraft. El tipo de investigación que se realizó fue descriptivo – cuantitativo, no experimental y de corte transversal. Como conclusión destaca que la incorporación del residuo plástico de origen urbano a la matriz de los materiales eco-compuestos da lugar a incrementos sustanciales en su módulo y resistencia a la tracción, a la par mejora el equilibrio entre la rigidez y tenacidad de estos. El aporte del citado autor ayudó a definir que el plástico reciclado es una buena composición para su fabricación, ya que le da mayor consistencia, rigidez y resistencia al ensayo a tracción.

### **3.2 BASE TEÓRICA**

La base teórica fundamental y necesaria para la elaboración de madera plástica, conste de los siguientes fundamentos:

- Madera plástica
- El reciclaje
- Wood Plastic Composites / Compuestos de Madera Plástica (WPC)
- Materias Primas
- Tecnologías de reciclaje
- Metodologías para la elaboración de madera plástica.

#### **3.2.1 Madera plástica**

La madera plástica se desarrolló en primer lugar en EEUU, con un notable éxito y posteriormente se desplazó al territorio europeo y demás países de América.

Esta se obtiene del reciclaje de residuos plásticos, los cuales se trituran y se colocan en una máquina extrusora, para luego ser moldeados.

#### **TIPOS DE MADERA PLÁSTICA:**

Existen diversas fórmulas y composiciones de madera plástica. Por ese motivo, se clasifica en dos compuestos:

“Uno es el **Wood plastic composite** (WPC), que combina madera y plástico, y en algunos casos incluye mezclas de residuos orgánicos (cáscara de arroz, cáscara de girasol, cáscara de banano), aserrín y aditivos. Este compuesto necesita mantenimiento, pues al ser orgánico sufre degradación y acorta su tiempo de vida.

El otro, llamado **Plastic lumber**, es la madera 100% plástica obtenida del reciclaje de polietileno de alta y baja densidad, y otros materiales termoplásticos (que se pueden fundir). Tiene un tiempo de vida estimado mayor a cien años”.

La madera plástica por su versatilidad posee aplicaciones que van desde productos mobiliarios, de construcción, agropecuario e industrial.

### **3.2.2 Reciclaje**

Al reciclaje se le define como la “operación de separar, clasificar a los residuos sólidos para reutilizarlos”. El término reciclaje se utiliza cuando los residuos sólidos clasificados sufren una transformación para luego volver a utilizarse.

El reciclaje es una práctica eco-amigable que consiste en someter a un proceso de transformación un desecho o cosa inservible, para así aprovecharlo como recurso que nos permita volver a introducirlos en el ciclo de vida, sin tener que recurrir al uso de nuevos recursos naturales.

El reciclaje consiste en obtener una nueva materia prima o producto, mediante un proceso fisicoquímico o mecánico, a partir de productos y materiales ya en desuso o utilizados. De esta forma, conseguimos alargar el ciclo de vida de un producto, ahorrando materiales y beneficiando al medio ambiente al generar menos residuos.

## **RECICLAR**

Según el diccionario de la Real Academia Española el significado de reciclar es el “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar”. (RealAcademia Española, s.f.)

En la actualidad la obtención de materias primas derivadas del producto final ya utilizado representa una fuente importante que puede ser renovada para muchos productos indefinidamente, el RECICLAR depende principalmente de tres factores:

- El valor del material como residuo,
- El costo del proceso de reciclaje
- La aplicabilidad de la materia prima obtenida. (Pardavé Livia, 2007)

## **CICLO DEL RECICLAJE**

El reciclaje de plástico, a excepción del PET, resulta demasiado complejo y costoso. La dificultad del reciclado reside en una de sus características principales: La diversidad; como por ejemplo PEAD, PEBD, PP, PVC, PS, PB. Son algunas de las variedades RECICLABLES existentes en el mercado y pueden proceder de rechazo industrial, postconsumo y agrícola. (OPEMED, 2015).

Los actores que están vinculados en el sistema del reciclaje son:

- Consumidor final.
- Reciclador primario.
- Centro de acopio.
- Reciclador final.
- Industria.

A continuación, en la Figura 01 se representa de manera gráfica el ciclo de reciclaje, la cual está representado mediante una enumeración para cada actor que interviene en este proceso.



**Figura 01.** Ciclo del reciclaje

**Fuente:** (Cruz A., 2016)

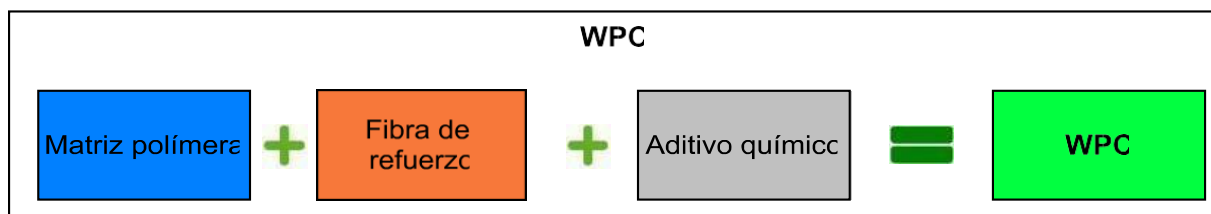
En la Figura 01 se detalla las partes involucradas dentro del ciclo de reciclaje según su enumeración.

### 3.2.3 COMPUESTOS DE MADERA PLÁSTICA (WPC)

Los compuestos de madera plástica o WPC (Wood Plastic Composite), por sus siglas en inglés son materiales que se encuentran formados por la combinación de dos

componentes principales: la matriz polimérica y partículas de refuerzo a base de celulosa (madera, harina, astillas o fibras) y aditivos químicos (lubricantes, ligantes, retardantes de llama, fungicidas, estabilizantes a la luz, pigmentos, etc). Los componentes se mezclan a altas temperaturas y luego mediante técnicas de extrusión, moldeo por inyección, o calandrado, se utilizan para la

conformación de productos finales. (Hutyrová, y otros, 2015). En la Figura 02 se representa como está compuesta la madera plástica.



**Figura 02.** Composición de la madera plástica

**Fuente:** (Hutyrová, y otros, 2015)

Como se muestra en la Figura 02, la composición de madera plástica está compuesta por tres componentes que constan de una matriz polimérica agregada la fibra de refuerzo más el aditivo químico que da como resultado un WPC.

El enfoque de estos compuestos de madera y plástico completamente biogénicos (bio- WPC) es que la cantidad de CO<sub>2</sub> generada por el procesamiento del material compuesto es compensado parcial o completamente por el CO<sub>2</sub> consumidos en la fase de crecimiento de las plantas utilizadas como materia prima. (Zierdt, y otros, 2015).

Los compuestos de polímero / madera se utilizan en cantidades crecientes en todo el mundo, ya que ofrecen un ambiente ecológico y una alternativa económicamente viable como materiales estructurales. (Tsunehisa, y otros, 2014).

### **Ventajas de los WPC**

Como se presenta en la Tabla 01, los WPC poseen características únicas frente a otros tipos de materiales.

**Tabla 01.** Ventajas de los compuestos de madera plástica (WPC)

WPC	Ventajas
	Alta durabilidad
	Baja absorción de humedad
	Bajo costo
	Biodegradabilidad
	Buenas propiedades de aislamiento
	Capacidad de reciclaje
	Mejor comportamiento térmico
	Mejor resistencia
	Mejor rigidez
	Resistencia a los hongos

**Fuente:** (Petchwattana & Covavisaruch, 2013)

Como se muestra en la Tabla 01, constan las siguientes ventajas de los WPC:

- a. **ALTA DURABILIDAD.** - Es un material que tiene una larga vida útil ya que está formado por plástico el cual tarda muchos años en degradarse.
- b. **BAJA ABSORCIÓN DE HUMEDAD.** - este material no permite la penetración de sustancias líquidas como el agua.



- c. **BAJO COSTO.** - la materia prima de cual está formado es barata.
- d. **BIODEGRADABILIDAD.** - Puede descomponerse como cualquier material plástico.
- e. **BUENAS PROPIEDADES DE AISLAMIENTO.** - No es conductor de corriente eléctrica.
- f. **CAPACIDAD DE RECICLAJE.** - Este material puede ser reciclado y reutilizado paracualquier aplicación.
- g. **MEJOR COMPORTAMIENTO TÉRMICO.** - Mejor comportamiento al calor.
- h. **MEJOR RESISTENCIA.** - Resistente a golpes, difícil de romper y deteriorarse, etc.
- i. **MEJOR RIGIDEZ.** - Resistente a las deformaciones elásticas.
- j. **RESISTENCIA A LOS HONGOS.** - No permite que se formen hongos ya que es unmaterial que no concentra humedad.

Los compuestos plásticos de madera (WPC) en las últimas dos décadas ha ido creciendo con bastante rapidez en el mercado. Las ventajas de WPC sobre la madera tradicional es que este compuesto sigue impulsando su crecimiento en diferentes aplicaciones que además reemplaza a la madera tradicional. (Petchwattana & Covavisaruch, 2013)

## APLICACIONES DE WPC

Estos compuestos combinan calidad y sostenibilidad con estética y funcionalidad, además de dar una solución de muy bajo costo. Su comportamiento es similar o mejor que la madera tradicional, la que la hacen ideal para proyectos residenciales, institucionales, artesanales, automotrices, hoteleros y comerciales. La mayoría de estos compuestos son utilizados como tableros, madera de paisaje, mesas de jardinería, pisosindustriales, muebles del hogar, perfiles de puertas y ventanas, entre otras aplicaciones. En la Figura 03 se presenta una aplicación de WPC:



**Figura 03.** Tablero de madera plástica

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Figura 03 se observa un prototipo de madera plástica elaborado a base de un material polímero y fibra vegetal.

En muchos casos, es necesario aplicar mecanizado convencional en tecnologías (tales como taladrado, rectificado, fresado o torneado) además de la extrusión de láminas o perfil utilizada para dar forma a los productos finales de WPC (en el caso de producción de bajo volumen. (Hutyrová, y otros, 2015)

## **EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL WPC**

En el WPC hecho de materiales vírgenes, cuanta más madera se utiliza, menor es el impacto ambiental potencial.

En el WPC hecho de una gran cantidad de madera secundaria, el procesamiento de partículas de madera secundarias contribuye a los impactos ambientales generales porque los granulados plásticos secundarios se pueden utilizar directamente en el contexto de un mercado establecido de granulados plásticos secundarios de alta calidad.

Sin embargo, al vincular los parámetros físicos con los parámetros ecológicos, cuanta más madera secundaria se usa, más bajos son los impactos ambientales potenciales, lo que resulta en la mejor alternativa ecológica y técnica.

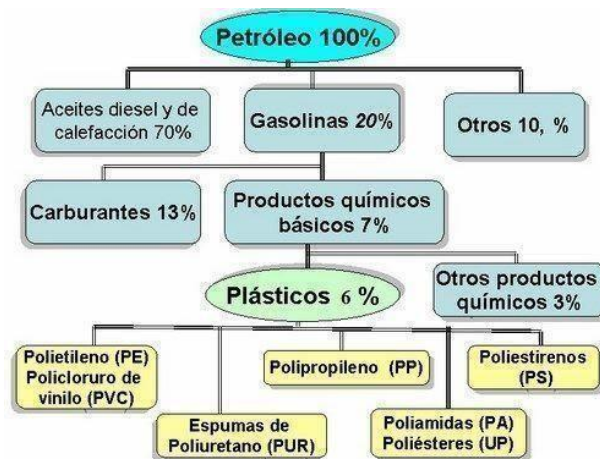
El desafío será manejar y reciclar los residuos de manera adecuada y de alta calidad sin difusión de sustancias peligrosas para generar mercados para WPC secundarios en términos del concepto de EPR (Extend Producer Responsibility). Por lo tanto, WPC definitivamente sería el último paso en una cadena en cascada de materiales primarios y secundarios. Hasta ahora, la madera, que se habría utilizado primero como material para madera sólida o producto de madera de ingeniería, está enriquecida con plásticos y aditivos en el producto WPC. (Sommerhuber, Wenker, Rüter, & Krause, 2016)

### 3.2.4 Materias primas

Las materias primas directas que intervienen en este proyecto para la elaboración de madera plástica son dos: el plástico ( PEBD y PP ) y las fibras de refuerzo.

#### a. Plástico

Los plásticos son materiales orgánicos formados por polímeros constituidos por largas cadenas de átomos que contienen fundamentalmente carbono. Otros elementos que contienen los plásticos pueden ser oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre. (Área Tecnológica, s.f.). A continuación, en la Figura 04 se establece la clasificación de la obtención del plástico.



**Figura 04.** Clasificación del plástico

**Fuente:** (Área Tecnológica, s.f.)

Como se observa en la Figura 04 a través de un organizador gráfico el plástico proviene de los productos químicos básicos correspondientes de la gasolina la cual es derivada del petróleo.

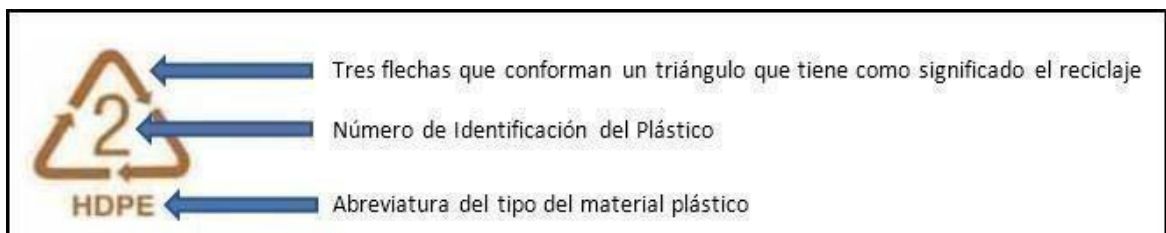
Los plásticos son materiales orgánicos, igual que la madera, el papel o la lana.

Las materias primas que se utilizan para producir plástico son productos naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y, por supuesto, el petróleo. Se han convertido en el material moderno preferido porque permite equilibrar las necesidades de hoy en día con la protección del medio ambiente. (Plastics Europe, s.f.)

La derivación del nombre a Plásticos resulta de la naturaleza moldeable (plástica) de muchos materiales originales antes que, de las características y propiedades de los productos finales conformados, la mayoría de los cuales son relativamente duros, no deformables, estables dimensionalmente y bastante no plásticos en su naturaleza. (Canale, 2015)

## **b. IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS**

La Sociedad de las Industrias Plásticas (SPI por sus siglas en inglés) fue la primera en desarrollar el sistema de código de identificación de resinas (RIC por sus siglas en inglés), un medio para clasificar los diferentes tipos de plásticos en los residuos domésticos, en 1988. El sistema RIC asigna un número de 1 a 7, con un símbolo de flechas que rodean el número, a una pieza de plástico que indica su tipo. (ASTM, 2010). En la Figura 05 se presenta la nomenclatura de cómo podemos identificar a los diferentes tipos de plástico.



**Figura 05.** Nomenclatura de identificación de los plásticos

**Fuente:** (ASTM, 2010)

Como se representa en la Figura 05 para identificar a los plásticos cuenta de tres factores como es la identificación de reciclaje con su correspondiente símbolo de Möbius, luego la numeración de identificación del plástico y la

abreviatura del tipo de material plástico que corresponda.

### c. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos se clasifican bajo la siguiente nomenclatura según la normativa NTE INEN

100-2014 “Materiales y Artículos Plásticos destinados a estar en contacto con los Alimentos.”

1.- PET (Tereftalato de Polietileno)

2.- HDPE (Polietileno de Alta Densidad)

3.- PVC o V (Cloruro de polivinilo)

4.- LDPE (Polietileno de Baja Densidad)

5.- PP (Polipropileno)


6.- PS (Poliestireno)

7.- OTROS

### TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET O PETE)

El PET es un tipo de plástico muy utilizado en diversas industrias bajo procesos desoplado, inyección y extrusión, cuenta con las siguientes características:

**Tabla 02.** Características del tereftalato de polietileno (PET)

NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Tereftalato de polietileno (PET o PETE)		Se encuentra en envases muy transparentes, delgados, verdes o cristal. Presentan un punto al centro del fondo del envase: para bebidas, aceite comestible, agua purificada, alimentos, aderezos, medicinas, agroquímicos; bolsas de hervir ahí mismo el alimento congelado y bandejas para comidas calentadas en microondas.


**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)

Este tipo de material es usado como materia prima para diferentes aplicaciones tanto en la industria como en otros campos, por tal razón es fundamental conocer los datos técnicos que presenta el PET.

### **POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)**

Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) y mejor resistencia química y térmica que el polietileno de baja densidad, debido a su mayor densidad. Además, es resistente a las bajas temperaturas, impermeable, inerte (al contenido), con poca estabilidad dimensional y no tóxico. (PYDSA, s.f.).

**Tabla 03.** Características del polietileno de alta densidad (HDPE)

NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Polietileno de alta densidad (HDPE)		Se encuentra en envases opacos, gruesos de diversos colores, rígidos, con una línea a lo largo y fondo del cuerpo. Como por ejemplo envases de cloro, suavizantes, leche, cubetas, envases de alimentos, bolsas para basura, botellas para detergente o blanqueadores, botellas para aspirinas, etc.

**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)

### **CLORURO DE POLIVINILO (V O PVC)**

“Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, en el segundo lugar mundial detrás del Polietileno”. (QuimiNet, 2010).

**Tabla 04.** Características del cloruro de polivinilo (PVC)


NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Vinilo (Cloruro de polivinilo o PVC)		Se encuentra en envases transparentes, semideltados, con asa y una línea a lo largo y fondo del envase. Por ejemplo: de shampoo, agua purificada, etc. También usado en mangueras, juguetes, tapetes, empaques para carnes, etc.

**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)

### **POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)**

El polietileno de baja densidad presenta ciertas características: alta resistencia al impacto, resistencia térmica, resistencia química, se puede procesar por inyección o extrusión, tiene una mayor flexibilidad en comparación con el polietileno de alta densidad, su coloración es transparente, aunque se opaca a medida que aumenta su espesor, difícilmente permite que se imprima, pegue o pinte en su superficie. (QuimiNet, 2012).

**Tabla 05.** Características del polietileno de baja densidad (LDPE)

NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Polietileno de baja densidad (LDPE)		Principalmente usado para películas y bolsas, de tipo transparente, aunque se puede pigmentar, de diversos calibres y también se usa para tuberías, bolsas para vegetales en supermercados, bolsas para pan, envolturas de alimentos y otros.

**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)


### **POLIPROPILENO (PP)**

Es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C. Es muy resistente a los golpes, aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados, entre las características se encuentra:



- a. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.
- b. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro.
- c. Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. (QuimiNet, 2012)

**Tabla 06.** Características del polipropileno (PP)

NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Polipropileno (PP)		Plástico opaco, traslúcido o pigmentado, empleado para hacer película o bolsas, envases, jeringas, cordeles, rafia para costales y sacos, incluye envases para yogurt, botellas para champú, potes, botellas para almíbar, recipientes para margarina, etc.


**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)

### **POLIESTIRENO (PS)**

Entre sus principales ventajas de este plástico se encuentran las siguientes:

- Baja resistencia al impacto.
- Muy baja elongación.
- Buen brillo
- Liviano
- Puede ser procesado en un amplio rango de temperaturas.
- Elevada fuerza de tensión.
- Resistente a químicos inorgánicos y al agua.
- Soluble en hidrocarburos aromáticos y purificados
- Propiedades eléctricas sobresalientes. (QuimiNet, 2005)

**Tabla 07.** Características del poliestireno (PS)


NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Poliestireno (PS)		Hay dos versiones, el expansible o espumado (unicel o nieve seca) y el de Cristal, empleado para fabricar cajas, envases y vasos transparentes, pero rígidos. Incluye tazas para bebidas calientes, envase para comidas rápidas, cartones para huevos y bandejas para carnes.

**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)

## OTROS

Estos plásticos pueden ser una opción más segura, ya que pueden ser muy duraderos y resistentes a altas temperaturas ocasionando una menor lixiviación. Plásticos nuevos biodegradables a base de plantas, como PLA (ácido poliláctico). (Smart Klean, 2011)

**Tabla 08.** Características de otro tipo de plásticos

NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Otros		Todas las demás resinas de plástico o mezclas de las indicadas arriba en un mismo producto. Estos plásticos representan aproximadamente el 4% de todos los plásticos. Recipientes de plástico (agua, leche, jabón, jugo, etc.).

**Fuente:** (NTE INEN 100, 2014)

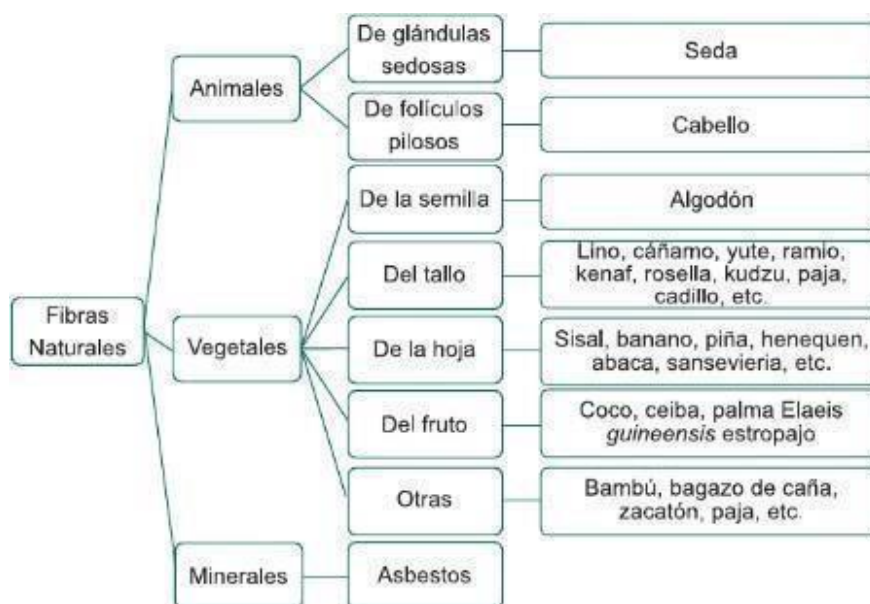
En la Tabla 08 presenta las principales características que tienen los **OTROS** tipos de plástico, este tipo de material es resultado de combinaciones de resinas de plástico, es difícil de encontrar este material ya que su producción es muy baja.

### 3.2.5 Fibras de refuerzo

Las fibras de refuerzo son filamentos utilizados para diferentes materiales compuestos para otorgar cohesión y resistencia a los productos finales. Además, estas fibras se las puede conseguir de manera natural o de manera sintética. Para la elaboración de compuestos de madera plástica (WPC) se procederá a realizar la utilización de fibras naturales.

#### Fibras naturales

En cuanto a sus ventajas para el medio ambiente y la salud, la utilización de forma sostenible de las fibras de origen vegetal y animal proporciona un recurso natural y renovable, evitando el impacto de los materiales sintéticos, que utilizan principalmente sustancias derivadas del petróleo. (Ecogaia, s.f.). En la Figura 06 se presenta un mapa conceptual de la



clasificación de las fibras naturales.

**Figura 06.** Clasificación de las fibras.

**Fuente:** (Jhon & Thomas, 2008)

Como se observa en la Figura 06 las fibras naturales abarcan tres factores en las cuales para este proyecto se centrará en la utilización de fibras vegetales ya que está compuesta de varios elementos que se los puede encontrar en el entorno.

## **FIBRAS VEGETALES**

“Las fibras vegetales se están convirtiendo en una alternativa realmente llamativa para aplicaciones industriales por su bajo costo, peso ligero y por ser una materia prima reutilizable con propiedades superiores a otros materiales cuando se utiliza como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica”. (Velásquez, Peláez, & Giraldo, 2016)

Dentro de las fibras vegetales como se detallan en la Figura 06 se encuentran las que se pueden obtener del tallo, de las semillas, de las hojas, de los frutos.

### **3.2.6 Tecnologías de reciclaje**

Las tecnologías de reciclaje que comúnmente se utilizan para la elaboración de madera plástica consta de tres: mecánica, térmica, química. En la Tabla 09 se describe cada una de las tres tecnologías.

**Tabla 09.** Tecnologías de reciclaje

TECNOLOGIA DE RECICLAJE	PROCESO	DESCRIPCION
Mecánica	Lavado	El proceso se realiza mediante la utilización de maquinaria de lavado, su función es limpiar el plástico que va a ser triturado con el fin de eliminar las impurezas.
	Triturado	Consta de un molino que funciona a base de energía eléctrica que tiene la función de triturar la materia prima hasta lograr una escama dependiendo de las especificaciones establecidas.
	Pulverizado	Se realiza mediante una máquina pulverizadora que tiene como función principal reducir el material (fibras vegetales) en pequeñas partículas.
	Prensado	Maquinaria que tiene la capacidad de compactar la masa fundida.
Térmica	Moldeado	Utilización de un horno eléctrico o a gas cuya función es derretir la(s) materias primas que intervienen en este proceso mediante el calor generado dependiendo de la temperatura que se le aplique.
	Extrusión	Las materias primas procesadas se calientan por el calor que se genera en este proceso, que tiene lugar bajo la influencia de fuerzas mecánicas, alta temperatura y humedad.
Química	Tratamiento Químico	Se basa en la combinación de materias primas con agentes químicos especiales la cual requiere tener maquinaria especializada para este proceso, la utilización de esta tecnología es muy poco usada.

**Fuente:** (Aréstegui, 2017)

Como se detalla en la Tabla 09 las tecnologías de reciclaje constan de tres: mecánica, térmica y química. Para la elaboración de compuestos de madera plástica existen varios procesos para poder aplicarlos, ya depende de la maquinaria instalada con la que se cuente al momento de la fabricación.

### 3.2.7 Métodos para la determinación de propiedades físicas del material compuesto

Se puede analizar el comportamiento de una muestra de un material que contenga plástico, observando sus propiedades físicas, lo cual permite obtener información valiosa que permite su identificación.

Enseguida se proporciona la metodología sugerida por el Instituto Mexicano del Plástico Industrial (IMPI, 1989) para describir las propiedades físicas de los plásticos, entre ellas: la apariencia física, las propiedades ópticas, el comportamiento a la flama, etc.

- **Apariencia física**

La primera etapa del método consiste en evaluar la apariencia física de la muestra. Para esto, se usan muestras en forma de placa delgada y se flexionan para definir qué tipo de grupo de plásticos pertenece, es decir, rígido, semi-rígido o flexible.

- **Propiedades ópticas**

Con esta prueba se determina si el material es opaco, transparente o translúcido. Para este fin, se observa una fracción del material a contraluz. De acuerdo a lo que pueda o no apreciarse llega a la conclusión del tipo de material que se trata.

- **Densidad**

La prueba de densidad se lleva a cabo colocando una fracción de la muestra en un vaso con agua. Si la muestra flota, su densidad es menor a  $1 \text{ gr/cm}^3$ , y si esto ocurre, para saber el valor aproximado, se sumerge en una solución de alcohol al 50% en volumen, si la muestra flota su densidad es menor a  $0.93 \text{ gr/cm}^3$ , si no lo hace, el parámetro vale entre  $0.93$  y  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

- **Comportamiento a la flama**

Se requiere un encendedor regulado a una altura de flama de 2.5 cm y un recipiente capaz de recibir los residuos de la combustión.

- **Combustibilidad**

Con esta prueba se determina qué tan fácil o difícil es incendiar la muestra, para ello, se toma una fracción acercándola a la flama y se mide el tiempo que tarda en incendiarse.

- **Duración y color de la flama**

Con otra fracción de la muestra, se repite la operación de encenderla y no apagarla sino hasta que se apague por sí misma. Se observa el color de la flama y se mide su duración.

- **Alteración de la muestra y color de los humos**

Nuevamente se enciende una fracción de la muestra y se observa el comportamiento de la misma, después de algunos segundos de su exposición a la flama. Paralelamente, se observa el color del humo.

#### **4. MÉTODO Y MATERIALES.**

##### **4.1 EL PRODUCTO O MADERA PLÁSTICA**

###### **DEFINICIÓN TÉCNICA DEL PRODUCTO**

Para la realización de dichos ensayos el producto o material utilizado es la madera plástica. Este material es fabricado con residuos vegetales como cáscara de arroz y productos de plástico reciclado, que son desechados al cumplir su vida útil para la cual fueron diseñados; así como las botellas, bolsas, persianas, tuberías, etc, que son diseños

de base plástica, estos productos son recolectados de basureros, casas, entre otros; para luego dar vida a este nuevo material, mediante un proceso productivo.

### **Especificaciones técnicas, composición y descripción de insumos**

#### **Materiales Utilizados:**

El material plástico reciclado utilizado, para este estudio, es el polietileno de baja densidad el polipropileno adquirido en forma de pellet.

El LDPB es un polímero termoplástico de la familia de los olefínicos, formado por múltiples unidades de etileno. Es un material de color lechoso que, dependiendo de su espesor, puede llegar a ser casi transparente. Esto hace que sea difícil imprimir, pintar o pegar sobre él. En cambio, es un material muy fácil de procesar mediante métodos como inyección o extrusión.

Su flexibilidad lo convierte en un material ideal para la fabricación de bolsas y sacos de plástico (tanto de supermercados como de basura) así como para la elaboración de film transparente, tanto doméstico como industrial.

El polipropileno PP, es de color blanco translúcido de forma natural, por lo que se le puede aplicar color fácilmente.

Se trata de un material mucho más ligero que el polietileno. Resiste mejor frente a los electrolitos (aisla de la electricidad) y los ácidos abrasivos. Es la mejor ventaja con la que cuenta frente al polietileno. Es difícil de quebrar o romper, aunque es un material menos elástico o flexible que el polietileno. Soporta mejor las altas temperaturas si lo comparamos con el polietileno y, en este caso, permanece en perfectas condiciones entre 0°C y 100°C. Es más brillante y más transparente que el polietileno.





**Figura 07.** Polietileno de baja densidad. densidad en pellet.



**Figura 08.** Polietileno de baja densidad.

El residuo vegetal utilizado es la cáscara de arroz.

La **Cáscara de arroz**, es el material vegetal que se obtuvo en el Molino América ubicado en carretera Chiclayo-Lambayeque.

Cabe mencionar, que entre las fibras orgánicas que es posible emplear para la producción de madera plástica, se hallan: el aserrín, el bagazo de coco, la fibra del agave, entre otras fibras orgánicas. Sin embargo, se usó cáscara de arroz, dada su disponibilidad en la zona geográfica que comprende las provincias de Lambayeque y Ferreñafe, debido a su extensa actividad agrícola.



**Figura 09.** Cáscara de arroz molido



**Figura 10.** Cáscara de arroz molido

Las muestras de madera plástica, para el análisis, están compuestas por 5 ,20, y 30%de cáscara de arroz, 5 , 20 y 30 % de PP y el restante de PEBD.

#### **Breve descripción de las propiedades del producto:**

El acabado texturizado de la madera plástica da el aspecto de madera natural, con la ventaja de ser adaptable en su diseño.

En resumen, las propiedades más resaltantes de la madera plástica serían las siguientes:

- Se pueden reciclar.
- Están considerados como productos compuestos ecológicos.
- Buena resistencia mecánica.
- Material resistente con alta Dureza.
- Se puede cortar, clavar, atornillar ensamblar, taladrar y lijar.

## **4.2 METODOLOGIA**

Industrialmente, la madera plástica puede obtenerse por compresión, extrusión e inyección. El proceso elegido depende principalmente de los productos esperados, es decir, placas sólidas, perfiles huecos, etcétera. En este proyecto son necesarias piezas sólidas que, posteriormente, son útiles para la determinación de propiedades mecánicas, para conseguirlas, se emplea el método de extrusión.

La metodología a utilizar, para determinar los parámetros de operación del proceso de fabricación de la madera plástica, se divide en dos etapas: obtención del producto- probetas de madera plástica y ensayo de las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

### **4.2.1 PRIMERA ETAPA: OBTENCION DEL PRODUCTO**

#### **PROBETAS DE MADERA PLASTICA**

Las probetas de madera plástica, son las muestras que se utilizan para determinar las propiedades mecánicas del material que definirán los parámetros de operación del proceso.

Las probetas se obtuvieron en el taller productivo de la Asociación de Investigación, Gestión y Desarrollo de Proyectos (IGDP), las que fueron sometidas a distintos ensayos para su caracterización físico-mecánica.

**Tipos de mezclas:** se obtuvieron 3 tipos de mezclas con diferentes composiciones porcentuales que van desde 5, 20 y 30% de material reciclado.

Mezcla 1: Cáscara de arroz – Polietileno de baja densidad. Mezcla 2: Polipropileno – Polietileno de baja densidad.

Mezcla 3: Cáscara de arroz - Polipropileno – Polietileno de baja densidad.

**Proceso de obtención de las probetas:** El proceso de elaboración de las

probetas, de acuerdo al tipo de mezcla, es el mismo que se utiliza a escala industrial, donde la materia prima, el plástico reciclado, junto con la cáscara de arroz, sufre un proceso térmico llamado extrusión, a temperaturas de procesamiento por encima de los 200° C, y que a continuación se detalla:

### **Paso 01. Obtención de la materia prima.**

El primer paso consiste en determinar cuáles serán los materiales a emplear y en qué cantidades serán usados.

#### **Composición de los materiales utilizados:**

Las muestras de madera plástica, para el análisis, tienen una composición porcentual, que varía desde 5, 20, y 30%, según el tipo de composición.

- El material plástico reciclado seleccionado es polietileno de baja densidad (PEBD / LDPE) y polipropileno (PP).
- Cáscara de arroz, es el material vegetal que se obtuvo en el Molino América ubicado en carretera Chiclayo-Lambayeque.

### **Paso 02. Acondicionamiento de la materia prima**

#### **A. Preparación de la cáscara de arroz.**

Este paso se inicia con la recolección de la fibra orgánica a utilizar, en este caso, la cáscara de arroz, el cual es un residuo del proceso de pilado del arroz en cáscara.

**A.1. Secado de la cáscara de arroz:** La cáscara presenta cierto grado de humedad inherente, por lo que se secó en un secador tipo estufa.

Para mantener la temperatura constante de la estufa durante el secado de la cáscara, se le dejó 12 horas operando a una temperatura

constante de 80°C, en las que, después de este periodo de estabilización y monitoreo constante, se alcanzaron las condiciones necesarias. Transcurrido este periodo, los recipientes calientes se colocaron en un desecador donde permanecieron 3 h, hasta enfriarse.

Finalmente, se registró de nuevo el peso de los recipientes con la cáscara seca, con los valores obtenidos, posteriormente, pudieron realizarse los cálculos correspondientes al contenido de humedad en peso de la cáscara de arroz. Aunque el contenido de humedad final es, por lo regular, de alrededor del 10% en peso, la literatura recomienda secar las cáscaras a contenidos de humedad inferiores a este valor, ya que, en el peso del contenido de humedad de un producto final se toma en cuenta el aumento en este parámetro, que se debe al líquido proveniente de las otras materias primas.



**Figura 11.** Estufa empleada para el secado de la cáscara de arroz.

**A.2. Molido:** Posteriormente se realiza la molienda de la cáscara de arroz en un molino convencional casero.



**Figura 12.** Molido de la cáscara de arroz.

**A.3. Tamizado:** Para lograr uniformidad en la geometría de las partículas de cáscara de arroz, éstas se pasan por un tamiz de prueba de acero inoxidable de 1 mm de apertura (0.0394 in), útil para remover el polvo y para separarlas por tamaño; cabe mencionar que, si el polvo no es retirado, tiende a absorber gran cantidad de termoplástico, reduciendo así la resistencia mecánica del material final.

## **B. Preparación del material plástico**

El plástico reciclado: PEBD y PP se obtuvo en forma de pellet, directamente, de la empresa recicladora de plástico A y C PLAST EIRL, de la ciudad de Chiclayo.

**B.1. Pesado:** Se procede a pesar el plástico y la cáscara de arroz de acuerdo a la composición requerida (5, 20, 30% cáscara de arroz; 5, 20 y 30 % de PP y el restante de PEBD). Una vez obtenidas las cantidades requeridas, ingresa a la operación de mezclado.



**Figura 13.** Pesado de plástico PEBD



**Figura 14.** Pesado de cáscara de arroz

**B.2. Mezclado de cáscara de arroz y plástico:** Para formar el compuesto, es necesario combinar el material fibroso con el termoplástico para producir un material homogéneo.

Existen varias formas para obtener las mezclas:

- 1) Pre-mezclar la fibra y el polímero, y formar pellets.
- 2) Alimentar los materiales sólidos mezclados directamente al equipo procesador de plásticos.
- 3) Alimentar al equipo primero la fibra, seguida del polímero, y
- 4) Fundir el polímero y posteriormente mezclar la fibra.

La mezcla de los materiales sólidos puede realizarse en una licuadora industrial. En este paso, se efectuó una mezcla de sólidos cuyo contenido en peso de cáscara fue del 5, 20 y 30%. Dado que ambos materiales se encuentran en estados sólido y granular; cáscara y plástico; se combinó el material fibroso con el termoplástico de manera mecánica, cuidando que su integración fuera homogénea, que se registró visualmente.



**Figura 15.** Mezclado de componentes

#### **3.2.1.2 Paso 03. Diseño y forma del material plástico (probeta)**

Una vez acondicionada la materia prima, se vierte en la tolva de la máquina extrusora, donde el material pasa por una zona caliente que permite se derrita el plástico y sea impulsado directamente a un molde que sea del formato requerido para el cliente.



**A. Acondicionamiento de superficie interna del molde:** Antes de iniciar el proceso se debe colocar una película de aceite de motor en el interior del molde para evitar que el material compuesto se pegue a la superficie debido a las impurezas. Otra opción es impregnar en el interior del molde una emulsión desilicona o con acetona.

**B. Extrusión:** Por medio de una tolva ingresa la mezcla fibra-plástico la cual es comprimida mediante un tornillo que gira en el interior de una camisa cilíndrica calefaccionada mediante bandas calefactoras eléctricas. El material se funde y adquiere una consistencia pastosa al llegar al extremo de la camisa donde se encuentra el cabezal con boquilla que alimenta un sistema formado por varios moldes.

**B.1. Materiales y equipo.** Una extrusora monotornillo, cuyas características son: diámetro del tornillo 30 mm y relación longitud diámetro L/D de 22/1, con un dado de extrusión de 3 mm de diámetro con tres hoyos, motor principal de 1,0 HP.

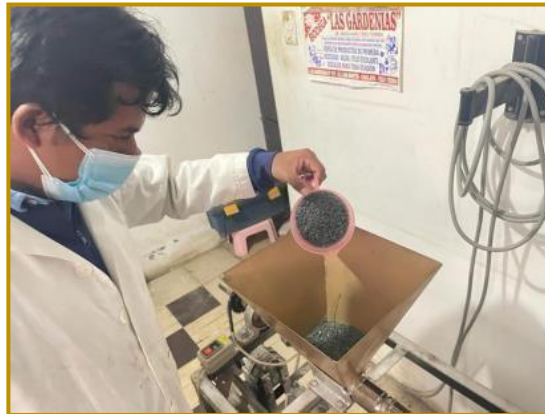


**Figura 16.** Máquina extrusora automatizada temperatura



**Figura 17.** Tablero de control de

**B.2. Procedimiento.** El material mezclado, se introdujo a la tolva de alimentación de la extrusora, bajo las condiciones de procesamiento según se indica a continuación: 235 °C en la primera zona de calentamiento, mientras que en la segunda zona se utilizó una temperatura de 245 °C, por 10 minutos, con una velocidad de 60 rpm. En estas condiciones se realizará la operación de fusión de la mezcla.



**Figura 18.** Adición de componentes al proceso de extrusión



**Figura 19.** Acoplamiento de molde para probeta de ensayo de flexión.



**Figura 20.** Acoplamiento de molde para probeta de ensayo de compresión.

- C. Enfriar:** Luego de que el material compuesto sale de la operación de extrusión, es trasladada hasta una tina con agua fría donde se le irá disminuyendo la temperatura hasta llegar a 23-25°C.



**Figura 21.** Enfriamiento de moldes

**D. Desmolde:** Finalmente el material se retira del molde para darle un acabado al producto para ser almacenado.



**Figura 22.** Desmoldado



**Figura 23.** Retiro de madera plástica para probeta de ensayo de flexión.

## **E. Confección de las probetas.**

El material compuesto obtenido sirve para determinar las pruebas, como el ensayo de compresión y ensayo de flexión. Dichas piezas son llamadas comúnmente probetas, son muestras del material que se usan para probar su elasticidad, resistencia, módulo de compresión, etc.

**E.1.** Materiales y equipos: Una sierra eléctrica y lija.

**E.2.** Procedimiento: Con las muestras de material madera plástica, a temperatura ambiente, se procedió a elaborar las probetas para los diferentes análisis, éstas se confeccionaron con la ayuda de una sierra eléctrica, según la norma ASTM D143, la cual exige que las muestras estén totalmente limpias y sin agentes que vayan a modificar los resultados de laboratorio.

Las medidas para la preparación de las probetas, según norma ASTM D 143, fueron:

- Probeta ensayo de compresión paralela a la fibra, pieza de 5x5x20 cm.
- Probeta ensayo de flexión paralela a la fibra, pieza de 2x4x40 cm



**Figura 24.** Probetas para ensayo de resistencia mecánica.

**Nota:** La probeta de la madera plástica es muy diferente a la de la madera de pino, ya que su estructura interna es muy diferente, en la cual la madera plástica cuenta con agujeros distribuidos de una forma no uniforme en toda su estructura y esto hace que su comportamiento sea distinto en pequeños tramos.

#### **4.2.2 SEGUNDA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN Y ENSAYO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

La determinación de las variables de operación como temperatura, flujo másico y composición; el conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera plástica se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida.

##### **A. Ensayo de las Propiedades Mecánicas.**

En la evaluación de las características mecánicas del nuevo material se siguen las Normas propuestas por la American Society for Testing and Materials (ASTM D-143). En cada una de estas normas se definen las dimensiones que deben tener las probetas de prueba, así como, las características de los equipos donde se efectúan y las condiciones necesarias para su realización.

Entre las propiedades mecánicas de la madera plástica a evaluar, se pueden mencionar las siguientes:

Resistencia a la compresión. Resistencia a la flexión.

La madera plástica elaborada debe cumplir con el requisito mínimo a flexión (19,51 MPa) y a compresión (6,51 MPa), propiedades que hacen que este material pueda ser empleado como sustituto de la madera.

**Resistencia a la compresión.** Esta propiedad nos permitirá tener un conocimiento de la carga axial que pueda soportar un pequeño segmento de este material. El material puede variar su propiedad en comparación a la madera del pino, ya que este material no cuenta con fibras o anillos; esto hace suponer que una carga en dirección paralela o normal al material de plástico actúe de la misma manera o de forma similar en ambos sentidos de la madera plástica.

**Resistencia a la flexión.** Es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse debido a una carga transversal. Si estas son elásticas recuperan su forma original cuando cesa la fuerza que las ha deformado, como en el caso del pino.

Esta propiedad también es parte de la madera plástica, por lo que es importante verificarse si se comporta de la misma manera que el pino o aún mejor que este. Esto se verificará con ensayos en el laboratorio donde se verificarán las cargas y deflexiones de ambos materiales.

## **B. Determinación de las propiedades mecánicas del material.**

Procedimientos de ensayo: El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera plástica se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzo a los que puede estar sometida.

Los ensayos fueron realizados en laboratorios especializados de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo. **(Ver Anexo 01 y 02)**



**Figura 25.** Equipo universal para determinar resistencia mecánica de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 RESULTADOS

#### Propiedades de la materia prima

Las propiedades fisicoquímicas de la materia prima utilizada, cáscara de arroz, polipropileno y polietileno de baja densidad, se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 10.** Propiedades de la cáscara de arroz, polipropileno y polietileno de baja densidad.

<b>Materia prima</b>	<b>Tamaño de partícula</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Temperatura de operación (° C)</b>
Cáscara de arroz en polvo	Tamiz # 40	0,90	La del proceso
Polipropileno	Pellet de 2 mm de espesor	0,92	250
Polietileno de baja densidad	Pellet de 2mm de espesor	0,98	235

**Fuente:** Elaboración propia.

#### Parámetros de operación y ensayos de resistencia mecánica de las probetas de madera plástica.

En la tabla se presentan los parámetros de operación del proceso de obtención de las probetas de madera plástica que se determinaron: Composición de la mezcla, temperatura externa de fusión y flujo másico. Además, los ensayos de resistencia a la compresión paralela y a la flexión paralela.

**Tabla 11.** Parámetros de operación y valores de ensayos de resistencia mecánica

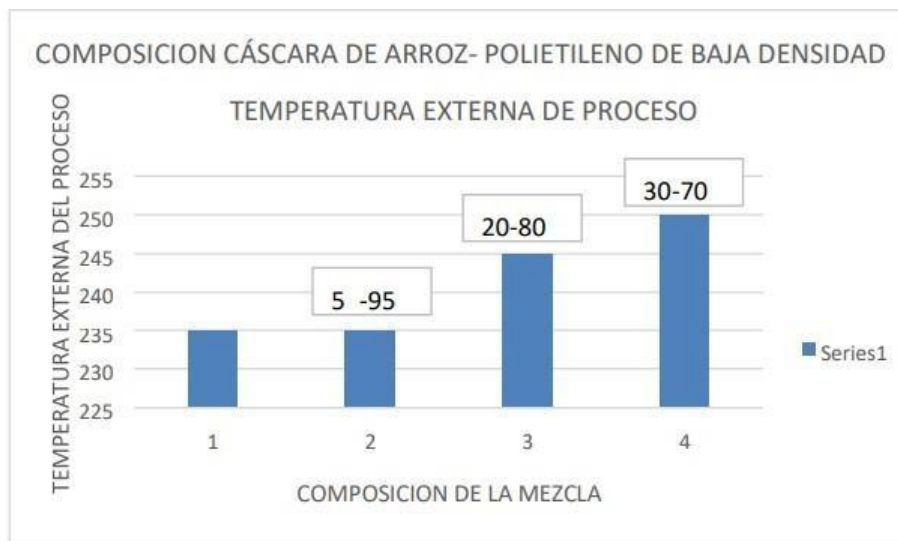
COMPOSICION PORCENTUAL DE LA MEZCLA				TEMPERATURA °C	FLUJO MÁSICO (g/min)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)	RESISTENCIA FLEXIÓN (MPa)
N°	CÁSCARA DE ARROZ	POLIPROPILENO	POLIETILENO BAJA DENSIDAD				
1	0	0	100	235	78	12.40	16.29
2	5	0	95	235	72	12.46	17.50
3	20	0	80	245	54	15.91	19.45
4	30	0	70	250	41	18.22	23.78
5	0	5	95	235	80	12.52	16.15
6	0	20	80	235	71	12.41	16.79
7	0	30	70	235	72	13.15	17.10
8	5	5	90	235	64	12.50	17.34
9	5	20	75	235	67	13.84	17.73
10	5	30	65	235	60	13.97	18.31
11	20	5	75	245	52	14.89	19.28
12	20	20	60	245	54	16.80	21.23
13	20	30	50	245	48	16.75	21.50
14	30	5	65	250	47	18.28	22.83
15	30	20	50	250	45	18.46	23.52
16	30	30	40	250	45	18.53	23.65

**Fuente:** Elaboración propia.

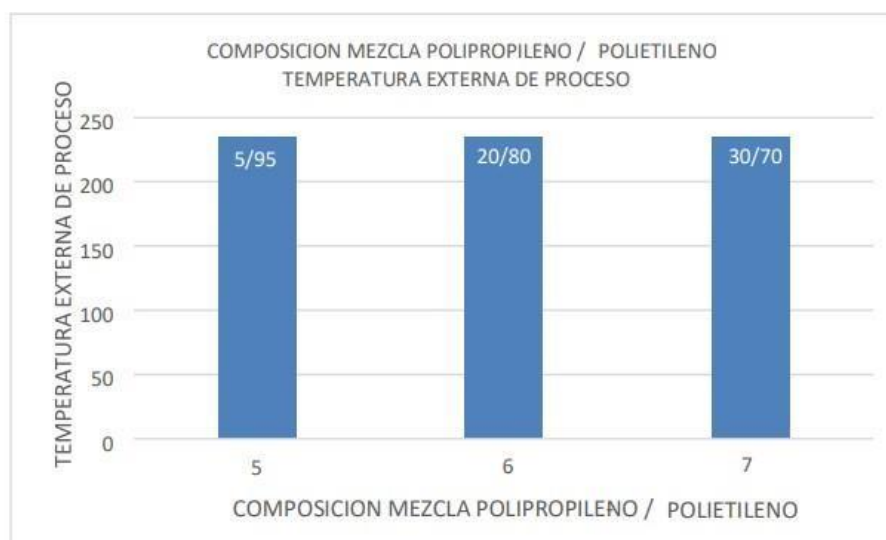
## **VALORES DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DE MADERA PLÁSTICA.**

### **TEMPERATURA DEL PROCESO**

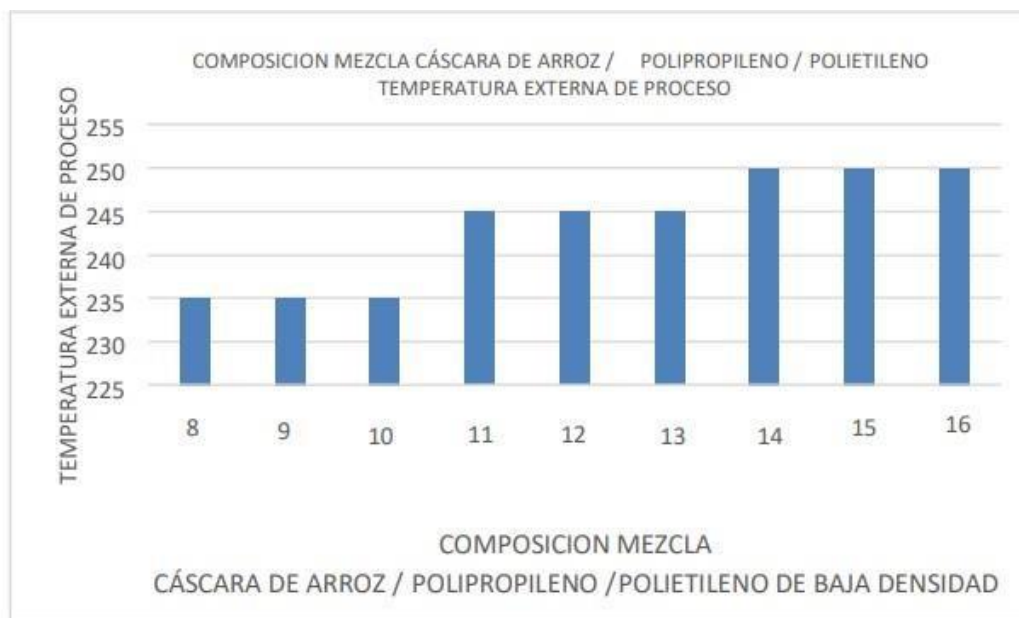
En las siguientes relaciones gráficas se presenta los diferentes valores de temperatura externa de fusión de operación para cada una de las composiciones de acuerdo al tipo de composición de mezcla.



**Figura26.** Composición: CÁSCARA DE ARROZ – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD / Temperatura del Proceso.



**Figura 27.** Composición: POLIPROPILENO-POLIETILENO /Temperatura del proceso



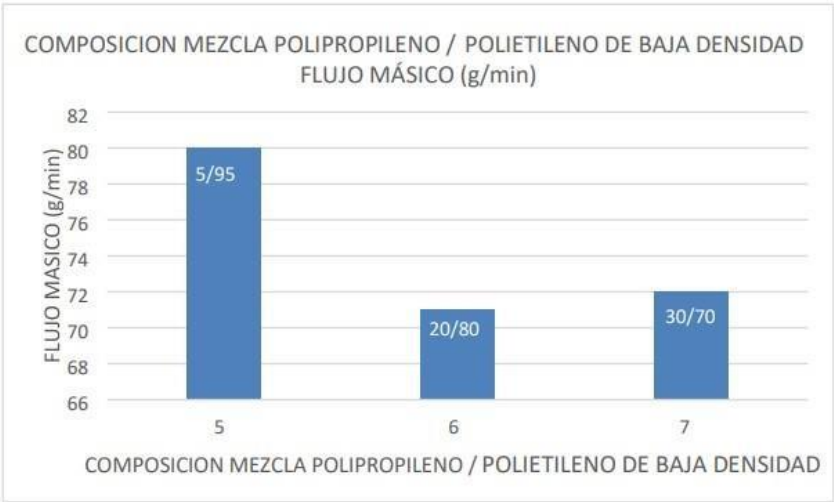
**Figura 28.** Composición: CÁSCARA DE ARROZ-POLIPROPILENO-POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD/Temperatura del proceso.  
**Ver como Anexo 03.**

### Flujo másico

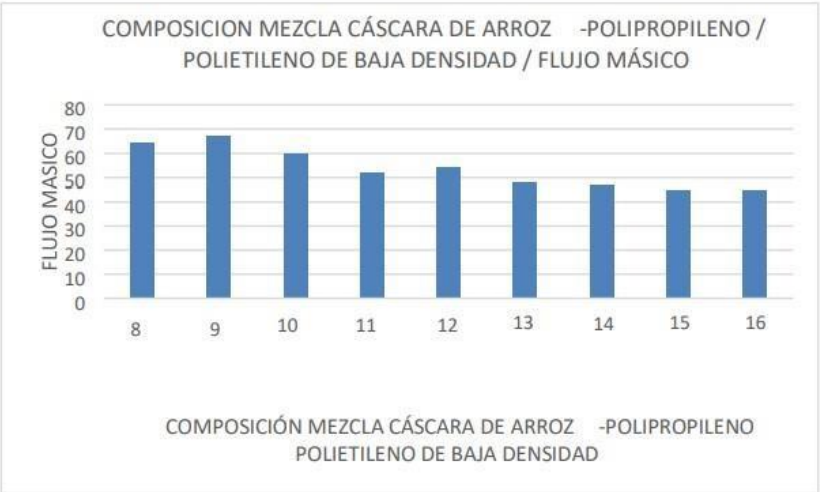
En este ítem se presenta la relación gráfica de los valores del flujo másico, para cada una de las composiciones de acuerdo al tipo de mezcla.



**Figura 29.** Composición: CÁSCARA DE ARROZ – POLIETILENO / Flujo másico del proceso



**Figura 30.** Composición: POLIPROPILENO – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD/ Flujo másico del proceso



## **5.1.1 Ensayos de resistencia mecánica de las probetas de madera plástica**

### **5.1.1.1 Ensayos de resistencia de compresión paralela a la fibra.**

Para la caracterización mecánica los ensayos de laboratorio realizados corresponden a resistencia a la compresión en sentido paralelo con muestras de dimensiones 5 cm de ancho por 5 cm de espesor por 20 cm de largo.

La propiedad mecánica de esfuerzo de compresión paralelo, para las distintas probetas ensayadas, se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo de compresión paralela} \quad F_c = \frac{P}{A} \text{ Donde:}$$

$P$  = Carga en Kg  
 $A$  = Sección transversal en  $\text{cm}^2$

### **5.1.1.2 Ensayos de resistencia de flexión paralela a la fibra**

Para la caracterización mecánica de los ensayos de laboratorio realizados, corresponden a resistencia a la flexión en sentido paralelo, el uso sobre probetas con dimensiones de 2.0 cm x 4.0 cm x 40 cm.

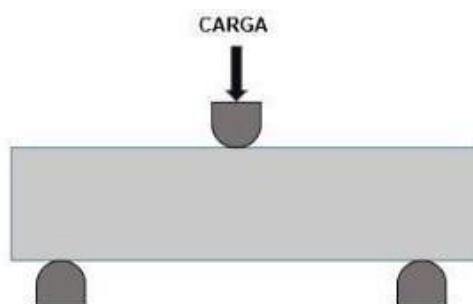
En resistencia a la flexión paralela a la fibra se analizaron las muestras, según su composición de 5%, 20% y 30% de cáscara de arroz, 5%, 20% y 30% de polipropileno y polietileno de baja densidad.

Los cálculos se determinaron en base al siguiente modelo:

#### **Parámetros del Equipo:**

Equipo: Compresión y Flexión, error de  $\pm 0.5\%$ , velocidad de carga 0.02 KN/seg para la flexión.

### Esquema del ensayo flexión



**Figura N°32:** Esfuerzo de flexión en el punto medio.

Fórmula para determinar el esfuerzo de flexión.

$$Rf = \frac{3PL}{2bd^2} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

Rf = Módulo de rotura.  $\text{Kg/cm}^2$

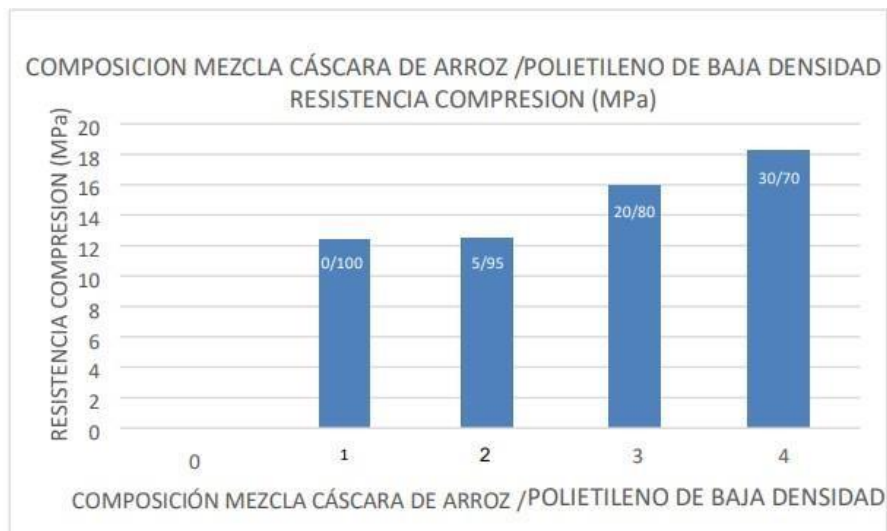
P = Carga de rotura aplicada indicada por la máquina de ensayo en kgf. L = Luz entre apoyos extremos en mm.

b = ancho promedio del espécimen, en el punto de fractura, mm. d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura, mm.

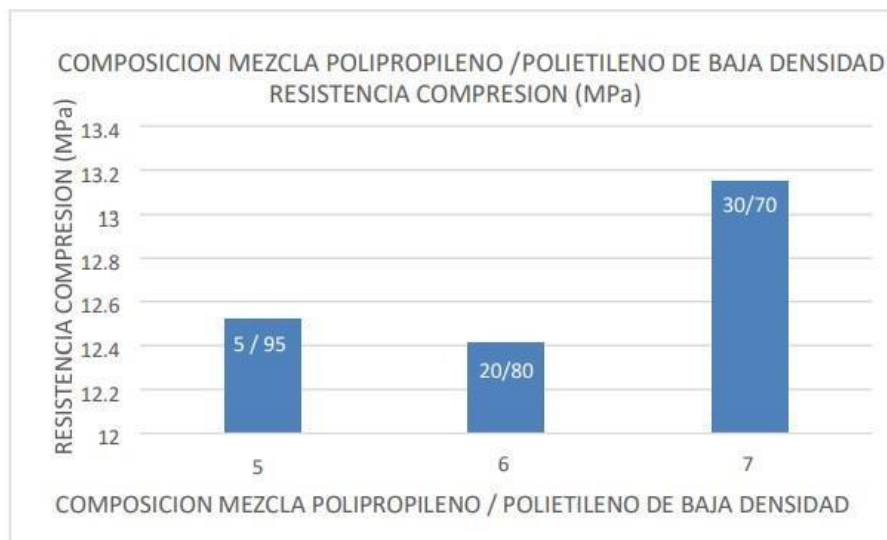
### 5.1.2 Valores de los ensayos de resistencia mecánica de las probetas de maderaplástica.

#### 5.1.2.1 Resistencia a la compresión

Se presenta las relaciones gráficas de la resistencia a la compresión paralela, para cadauno de los ensayos de acuerdo al tipo de mezcla.

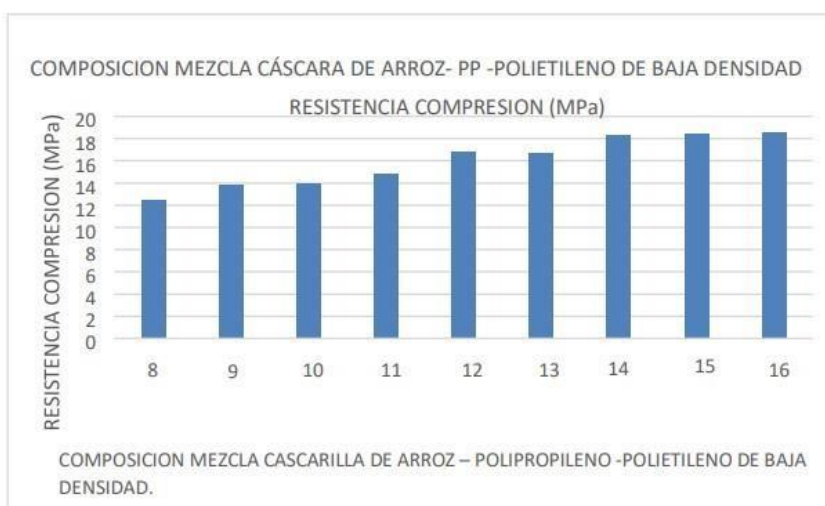


**Figura N° 33.** Resistencia a la compresión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

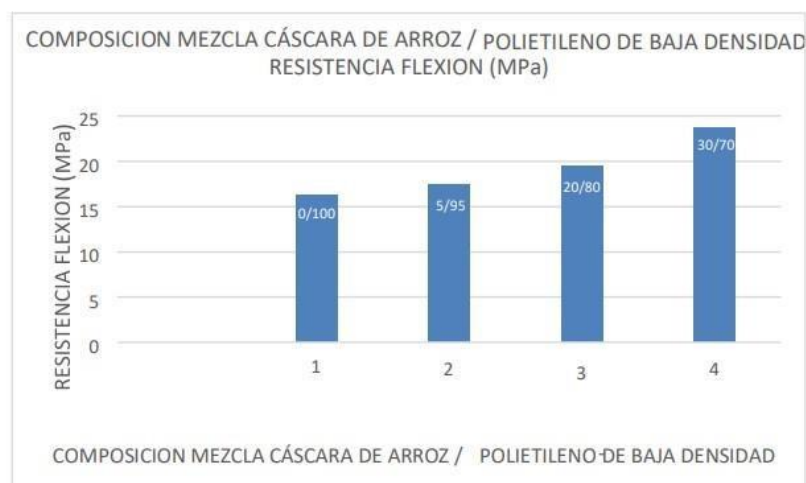


**Figura N° 34.** Resistencia a la compresión paralela de la mezcla POLIPROPILENO – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

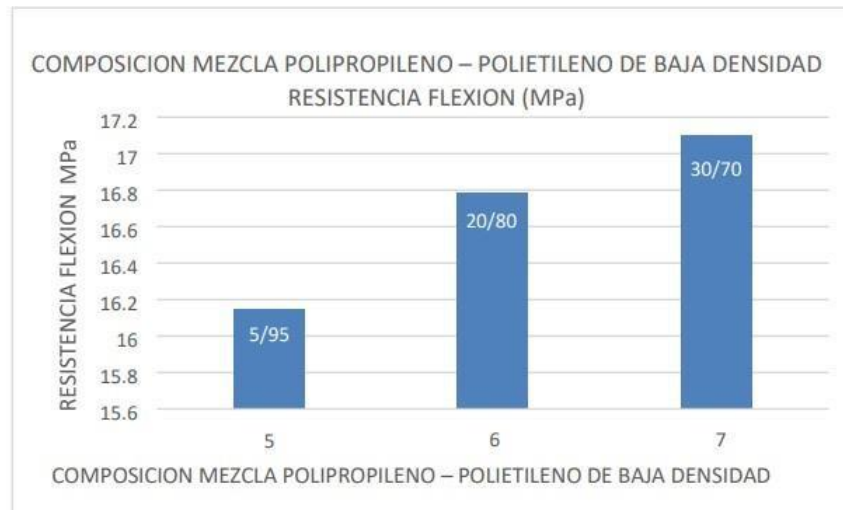




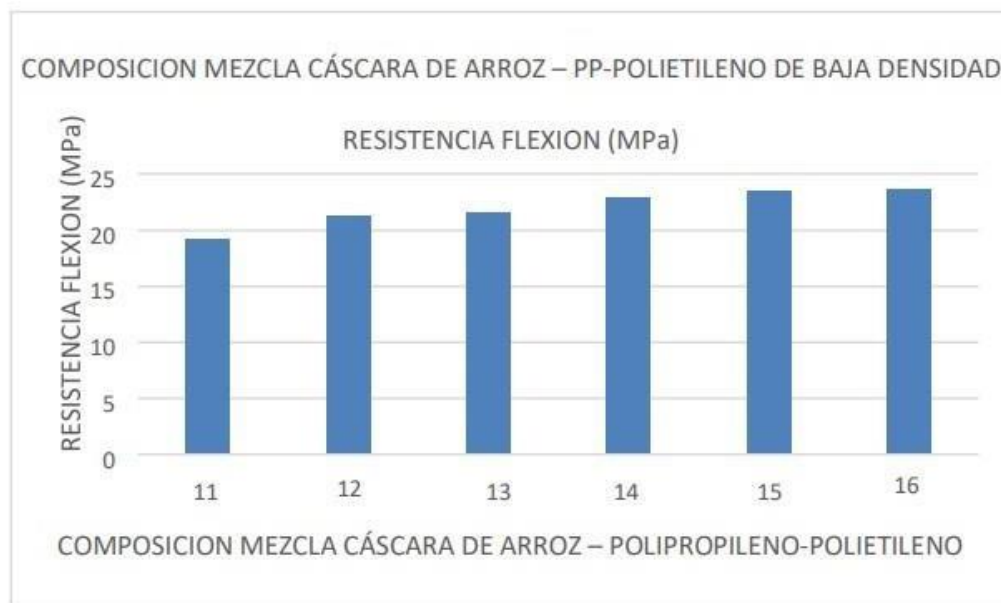
**Figura N° 35.** Resistencia a la compresión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ- POLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.  
**Ver como Anexo 05.**



**Figura N °36.** Resistencia a la flexión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ-POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.



**Figura N° 37.** Resistencia a la flexión paralela de la mezcla POLIPROPILENO – POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.



**Figura N° 38.** Resistencia a la flexión paralela de la mezcla CÁSCARA DE ARROZ-POLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.  
**Ver como Anexo 06.**

### 5.1.2.2 Resistencia a la flexión

En las siguientes relaciones graficas se presenta la resistencia a la flexión paralela, para cada uno de los ensayos de acuerdo al tipo de mezcla.

### 5.1.3 Análisis estadístico de los parámetros de operación del proceso y ensayos de resistencia mecánicas de las probetas de madera plástica

Este apartado contiene los datos de la media aritmética y desviación estándar de los valores de los parámetros de operación del proceso de obtención de las probetas de madera plástica y los ensayos de resistencia mecánica realizadas a las piezas o probetas de madera plástica creadas, comparándolas para cada tipo de mezcla.

#### 5.1.3.1 Media aritmética de los parámetros de operación del proceso y ensayos de resistencia mecánicas de las probetas de madera plástica

Esta sección, presenta los valores de la media aritmética de los parámetros de operación del proceso y ensayos de resistencia mecánicas de las probetas de madera plástica realizadas a las piezas de madera plástica, creadas de acuerdo al tipo de composición de mezcla para compararlas.

**Tabla 12.** Media aritmética

Tipo de composición	Temperatura (°C)	Flujo másico (g/min)	Resistencia compresión (Mpa)	Resistencia flexión (Mpa)
Cáscara de arroz / Polietileno de baja densidad	243	55,7	15,54	20,24
Polipropileno/ Polietileno de baja densidad.	235	74,3	12,70	16,68
Cáscara de arroz/ Polipropileno / Polietileno.	243	53,5	16,00	20,60

**Fuente:** Elaboración propia.

**5.1.3.2** Desviación estándar de parámetros de operación del proceso y ensayos de resistencia mecánica de las probetas de madera plástica. Esta sección, contiene los valores de la desviación estándar de los parámetros de operación del proceso y ensayos de resistencia mecánicas de las probetas de madera plástica realizadas a las piezas de madera plástica, creadas de acuerdo al tipo de composición de mezcla para compararlas.

**Tabla 13.** Desviación estándar

<b>Tipo de composición</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Flujo másico</b>	<b>Resistencia compresión</b>	<b>Resistencia flexión</b>
<b>Cáscara de arroz / Polietileno de baja densidad.</b>	7,64	15,56	2,89	3,21
<b>Polipropileno/ Polietileno de baja densidad.</b>	0	4,93	0,39	0,68
<b>Cáscara de arroz/ Polipropileno / Polietileno de baja densidad.</b>	6,62	8,32	2,26	2,49

**Fuente:** Elaboración propia.

## **5.2 DISCUSION**

- Las muestras o probetas de madera plástica fueron elaboradas utilizando 3 tipos de mezclas: cáscara de arroz -polietileno de baja densidad // polipropileno -polietileno de baja densidad y cáscara de arroz - polipropileno – polietileno de baja densidad ; las que se formularon según la composición requerida, de 5, 20 y 30 por ciento en peso a temperatura de operación, desde 235 a 250 °C, logrando analizar 16 muestras (probetas) diferentes, en cuanto a sus propiedades de resistencia mecánica como compresión y flexión, tal como se observa en la **tabla 11**.
- Las muestras de madera plásticas obtenidas fueron evaluadas en cuanto al efecto que causa el cambio en la proporción de cáscara de arroz como material reforzante,y la temperatura en la etapa de extrusión y moldeado,

para la determinación de los parámetros de operación: temperatura de proceso, así como sobre las propiedades de resistencia mecánica de compresión y de flexión.

- Los resultados experimentales de temperatura de operación, flujo másico, resistencia a la compresión y flexión se graficaron de acuerdo al tipo de mezcla, utilizando gráficas de barras ya que cada dato representa un valor discreto de cada muestra de madera plástica elaborada.
- Para la prueba de la temperatura de operación, en las figuras 26, 27 y 28 se aprecia una variación significativa de la temperatura solo en función de la formulación de cáscara de arroz. La temperatura solo depende de la cantidad de cáscara de arroz presente en la formulación, la mayor temperatura media fue de 250 grados en las formulaciones de 20 y 30 % de cáscara de arroz y polipropileno. La temperatura de operación depende de la cáscara de arroz, la cual tiene una temperatura de inflamación de 280 y el polipropileno se descompone a temperaturas mayores a los 270 grados Celsius.
- Los resultados de las pruebas de resistencia mecánica (compresión y flexión) se presentan en la figura 33, 34, 35, 36, 37 y 38, mostrando un incremento de proporción de material reforzante (cáscara de arroz y polipropileno). Se puede determinar, finalmente, que la resistencia a la compresión y flexión aumenta al incrementar la proporción de cascarilla de arroz.
- Las muestras (probetas) de madera plástica elaboradas, según las composiciones cáscara de arroz – polietileno de baja densidad y cáscara de arroz - polipropileno- polietileno de baja densidad, presentaron las mejores propiedades mecánicas de compresión y flexión, corresponden a los elaborados con 20 y 30 por ciento de material reforzante (cáscara de arroz y polipropileno).

- La incorporación de cáscara de arroz aumenta ligeramente las propiedades de resistencia del polímero plástico reciclado, pero disminuye sus propiedades de plasticidad.
- Se observó en el ensayo de compresión que no se evidenció fractura, solo deformación irreversible en la muestra, es decir, todas las muestras sufrieron deformación irreversible y ninguna muestra se terminó de fracturar.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

1. El estudio experimental de esta investigación demuestra que es posible utilizar residuos plásticos, cáscara de arroz, para la obtención de madera plástica, determinando los parámetros óptimos de operación para realizar dicho proceso.
2. Las composiciones de material reforzante (cáscara de arroz y polipropileno) utilizadas en las muestras de madera plástica que presentaron las mejores propiedades de resistencia mecánicas fue la de la fila 4, 14, 15 y 16 de la tabla 11 obteniendo el valor más alto en todas las pruebas de ensayos de compresión y flexión.
3. La variable de operación que más influyó sobre las propiedades físico mecánicas de las muestras de madera plástica, fue la temperatura y en menor escala el flujo másico el cual está estrechamente relacionado con la presión de compactación.
4. El flujo másico fue afectado por la formulación de las muestras de madera plástica y la presión de compresión, es decir, al aumentar el contenido de material reforzante como cáscara de arroz el flujo másico disminuyó.
5. Las muestras (probetas) de madera plástica que presentaron las mejores propiedades de resistencia mecánica corresponden a las composiciones

de cáscara de arroz-polietileno de baja densidad y cáscara de arroz-polipropileno-polietileno de baja densidad, elaborados a 250 °C.

6. La madera plástica elaborada, cumple con el requisito mínimo a flexión (19,51 MPa) a compresión (6,51 MPa), resultados que respaldan como un material apto para soportar esfuerzos de compresión, no importando en que cara se aplique; así también resulta un material bastante apto para soportar esfuerzos de flexibilidad, propiedades que hacen que este material pueda ser empleado como sustituto de la madera.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

1. No operar los perfiles o piezas de madera plástica a temperaturas mayores de 250°C, debido a que la cáscara de arroz se empieza a quemar y las muestras de madera plásticas salen oscuras.
2. Realizar un estudio utilizando un termoplástico con una temperatura de fusión menor a la del polipropileno y un material vegetal para comparar los resultados y determinar cuál es más factible.
3. Se debe agregar los componentes de la mezcla, según las composiciones definidas para cada caso, con la finalidad de obtener una estructura uniforme del material.
4. Con los resultados obtenidos, este material compuesto podría utilizarse en la fabricación de elementos como estibas, plataformas para recubrimiento de jardines, bancas para parques, vallas para granjas, mobiliario escolar, etc.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

BELTRÁN, Maribel y MARCILLA, Antonio. (2012), Proyecto de tesis Tecnología de polímeros. San Vicente: Universidadde Alicante.

BRAÑEZ Haro, Luz (2016). Estudio del sinterizado de materiales compuestos de plástico reciclado y madera recuperada mediante moldeo por compresión. Magíster en Ingeniería y Ciencia de los Materiales. Pontifica Universidad Católica del Perú.

DEGARMO, Paul, BLACK, Javier, KOHSER, Ronald (2002). Materiales y procesos de fabricación. Sevilla: Editorial Reverté S.A.

LEMUS, Juan. y ROMERO, Yaider. (2014) Diseño de un prototipo de viviendas sostenibles en madera para la región de la Mojana. Título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia.

LORA, Ikeda. (2016) Comportamiento al intemperismo de un material compuesto bambú - plástico elaborado con partículas de guadua angustifolia kunth y polipropileno. Título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016.

NUÑEZ, Carlos, ROCA, Antoni y JORBA, Jordi. (2016) Comportamiento mecánico de los materiales. 2ª ed. Barcelona: Universidad de Barcelona.

OSPINA, Carlos. (2015) Evaluación de las propiedades mecánicas de los perfiles extruidos a partirde mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol S.A.S.

PARDAVÉ, Walter. (2007) Estrategias ambientales de las 3R a las 10 R, sobre la resistencia y compresión de los materiales. Bogotá, Colombia.

PÉREZ, Emerson. (2010) Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados. Título de Ingeniero Civil. Universidad de SanCarlos de Guatemala,

VALDERRAMA, Santiago. (2007) Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica. Lima: Universidad Nacional de San Marcos.



Clua Graciela (2011) "La cascarilla de arroz, un alimento natural apto para celíacos Universidad Buenos Aires."

Daniel O. (2002) "Influencia de la temperatura sobre los materiales, humedad y tiempo en el tostado de las harinas de arroz (*Prosopis alba* Griseb). Facultad de agroindustrias,.UNNE: Argentina."

Flores Calderón. Corina Andrea (2008) "Estudio de Madera plástica: Estimación de la temperatura como factor determinante" Valdiviana. Chile."

Ludeña Gutiérrez Alfredo. (2012). Cuantificación y polimerización en reactores con fines de estandarización. Tesis doctoral. UNP-Piura. Perú

Masson, Lilia (2007) "Mejoramiento de la resistencia de los materiales". Departamento de Ciencia de Los Alimentos y tecnología Química, Centro de investigación y desarrollo en grasas y Aceites (CIDGRA), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Casilla 233, Santiago, Chile.

## 8. ANEXOS.

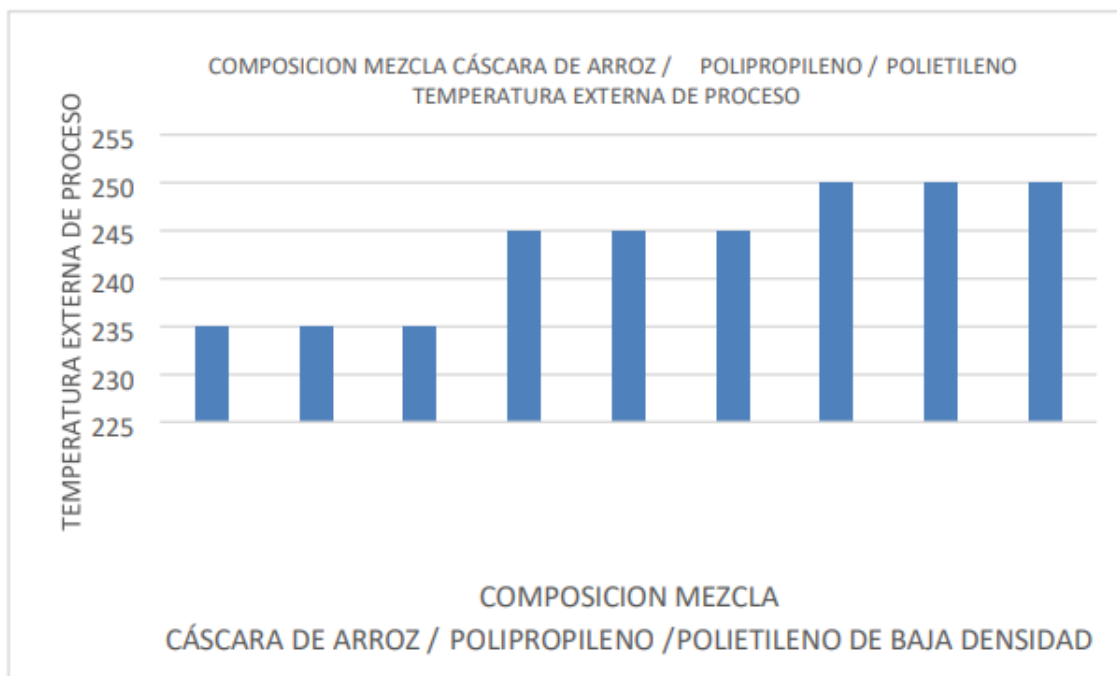
### ANEXO N ° 01. ENSAYO DE COMPRESIÓN.



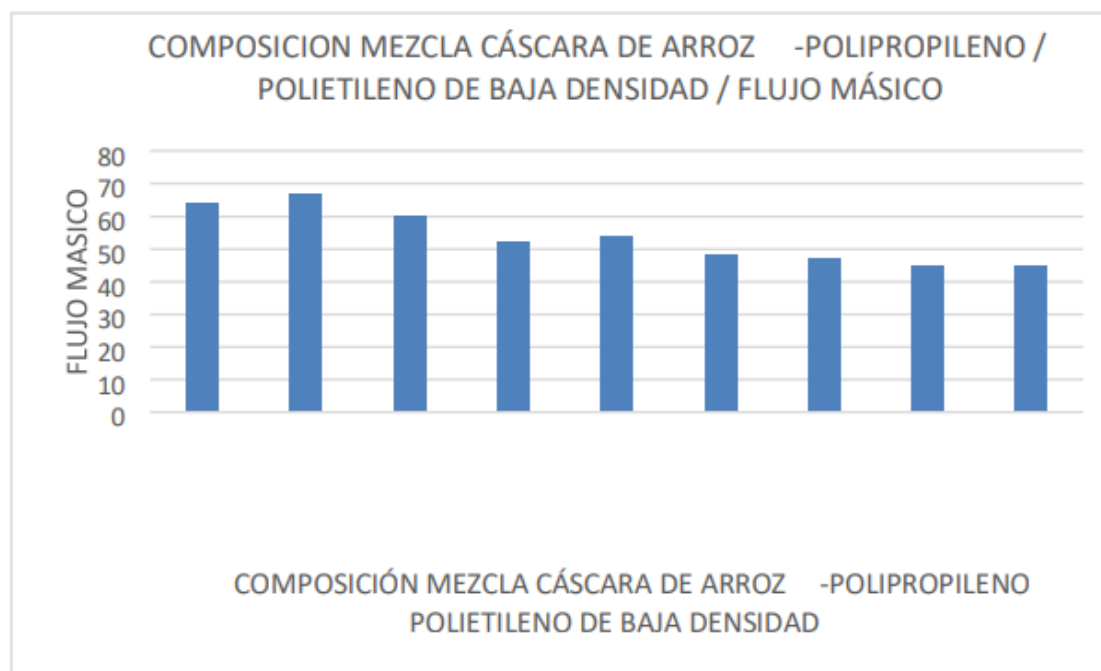
### ANEXO N ° 02. ENSAYO DE FLEXIÓN.



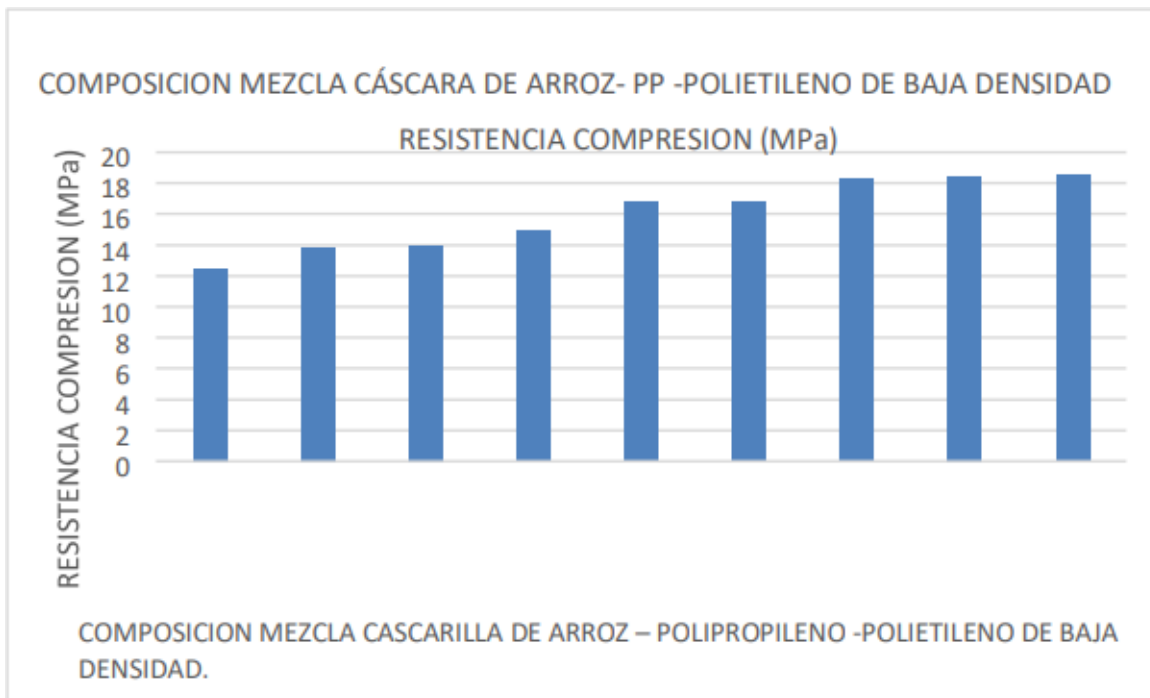
### ANEXO N ° 03. TEMPERATURA DEL PROCESO / COMPOSICIÓN: CÁSCARA DE ARROZ-POLIPROPILENO -POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD



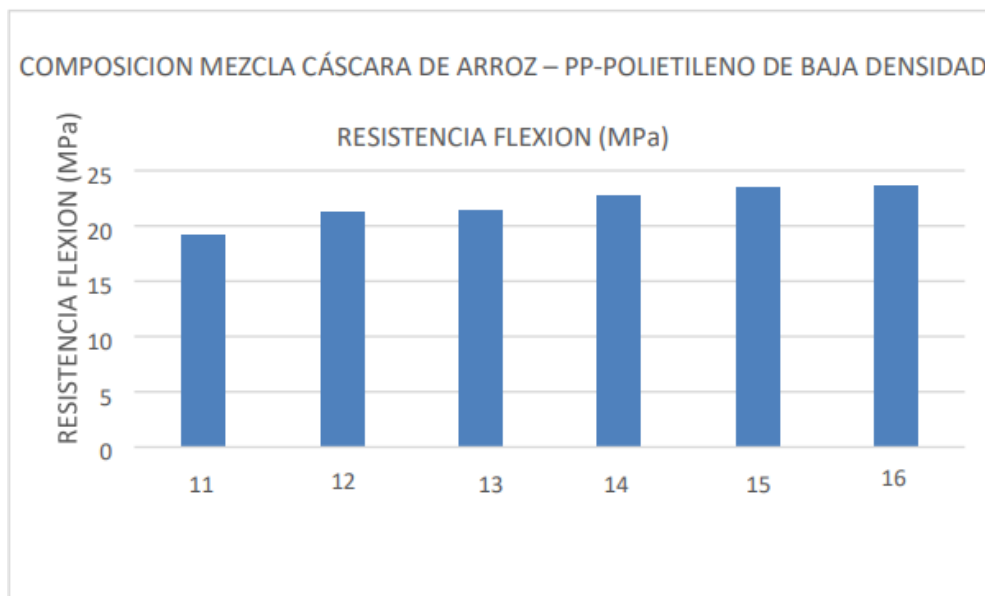
### ANEXO N ° 04. FLUJO MÁSSICO DEL PROCESO / COMPOSICIÓN: CÁSCARA DE ARROZ /POLIPROPILENO/ POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD



**ANEXO N ° 05. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA CÁSCARA DE ARROZ-POLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.**



**ANEXO N ° 06. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LA MEZCLA CÁSCARA DE ARROZ-POLIPROPILENO- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.**





## Acta de Sustentación

Siendo las 12:00 am del día 08 de Junio del 2023, se reunieron en la sala de sustentaciones de la FIOIS, los miembros del jurado de la tesis titulada "Deformación de los parámetros de operación del proceso de obtención de madera plástica a partir de residuos plásticos y cascarz de arroz", designada por Resolución N° 349-2021-D-FIOIS-VIRTUAL (14/12/21). El jurado estuvo conformado por:

Dr. Angel Wilson Mercado Seminario (Presidente).

MSc. Edwin Darío Achup García (secretario)

Dr. Juan Pedro Coronado Zuloaga (Vocal).

La tesis fue examinada por el MSc. Manuel Antonio Díaz Paredes (nombrado por Resolución N° 327-2021-D-FIOIS-VIRTUAL (24/11/23)). La investigación fue desarrollada y sustentada por los bachilleres: Juan Anthony Rodríguez Steenar, Nivaldo Segundo Moem Olguin. La sustentación se desarrolló en merito a la Resolución N° 116-2023-D-FIOIS-VIRTUAL de fecha 05 de junio del 2023. El acto de sustentación tuvo una duración de 60 minutos, luego las sustentantes resolvieron las preguntas formuladas por el jurado, quienes luego de la deliberación correspondiente acordaron los siguientes resultados:

Bach. Juan Anthony Rodríguez Steenar, aprobado por unanimidad con calificación de BUENO

Bach. Nivaldo Segundo Moem Olguin, aprobado por unanimidad con calificación de BUENO

Siendo las 13:00 hrs se emitió el acto académico en cumplimiento al Art 17, 18 del Reglamento de Investigación de la Unidad de Investigación; para dar fe de lo actuado, se firmó el presente acta.

Dr. Angel Wilson Mercado Seminario  
Presidente

MSc. Edwin Darío Achup García  
Secretario

Dr. Juan Pedro Coronado Zuloaga  
Vocal

MSc. Manuel Antonio Díaz Paredes

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”  
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## **CONSTANCIA**

Por el presente documento se deja constancia que se ha revisado el proyecto de tesis, titulado: **“DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCION DE MADERA PLASTICA A PARTIR DE RESIDUOS PLASTICOS Y CASCARA DE ARROZ”**, elaborado los autores:

Bachiller: **JHON ANTHONY RODRIGUEZ HUERTAS**

Bachiller: **NICOLAS SEGUNDO MORENO CHOZO**

La revisión se realizó con el programa antiplagio TURNITIN, registrado con el Identificador N° 2006188250, de fecha 04 de febrero de 2023, dando el siguiente resultado:

**PORCENTAJE DE SIMILITUD: 18 %**

Se adjunta copia del resumen de coincidencias, y se firma dando constancia del porcentaje de similitud, y pueda ser utilizado para los fines que considere conveniente.

Lambayeque, 05 de febrero de 2023

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is stylized and appears to be 'M. A. Díaz Paredes'.

DÍAZ, PAREDES, MANUEL ANTONIO

jhon anthony

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.utn.edu.ec](https://repositorio.utn.edu.ec)

Fuente de Internet

13%

2

[repositorio.tec.mx](https://repositorio.tec.mx)

Fuente de Internet

2%

3

[biblioteca.usac.edu.gt](https://biblioteca.usac.edu.gt)

Fuente de Internet

1%

4

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

5

[revistas.unilibre.edu.co](https://revistas.unilibre.edu.co)

Fuente de Internet

1%

6

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[1library.co](https://1library.co)

Fuente de Internet

<1%

8

[www.quimica.una.ac.cr](https://www.quimica.una.ac.cr)

Fuente de Internet

<1%

9

[www.coursehero.com](https://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1%

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a black rectangular box. The signature is stylized and appears to be 'M. A. Díaz Pardees'.

DÍAZ PARDEES, MANUEL ANTONIO





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Rodriguez Huertas  
Título del ejercicio: tesis madera plastica  
Título de la entrega: jhon anthony  
Nombre del archivo: INAL\_DE\_PROYECTO\_MADERA\_PLASTICA-JHON\_RODRIGUEZ\_Y...  
Tamaño del archivo: 1.44M  
Total páginas: 60  
Total de palabras: 11,866  
Total de caracteres: 63,850  
Fecha de entrega: 04-feb.-2023 11:11a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2006188250



UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

"Determinación de los Parámetros de Operación del  
Proceso de obtención de madera plástica a partir de  
residuos plásticos y casaca de arroz"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

Jhon Anthony Rodriguez Huertas  
Nicolas Segundo Moreno Chazo

ASESOR:

Ingeniero: Manuel Antonio Diaz Paredes

Lambayeque - Perú

2023

Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.

DIAZ PAREDES, MANUEL ANTONIO